

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

«На правах рукопису»

УДК 004.415.25

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Коваль О. В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення

за спеціалізацією Інженерія програмного забезпечення розподілених систем

на тему: Розробка агента управління попитом на енергію “інтелектуальної будівлі”

Виконав: студент 6 курсу, групи ТІ-81мп
(шифр групи)

Шарнін Сергій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Ковальчук А. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Сірий О.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення

(код і назва)

Спеціалізація Інженерія програмного забезпечення розподілених систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль О. В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ”

20__ р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шарніну Сергію Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації “Розробка агента управління попитом на енергію “інтелектуальної будівлі”

Науковий керівник Ковальчук Артем Михайлович, к.т.н. , доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету 3812-с від “ 4 ” листопада 2019 р.

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Автоматизація електроспоживання “інтелектуальної будівлі”

4. Предмет дослідження Програмний агент управління попитом на електроенергію за концепцією управління попитом

5. Перелік завдань, які необхідно розробити:

1) Проаналізувати концепцію управління попитом

- 2) Проаналізувати технологію інтелектуальної мережі
- 3) Проаналізувати ряд методів оптимізації електроспоживання
- 4) Реалізувати обраний метод оптимізації електроспоживання
- 5) Розробити агент управління попитом на енергію “інтелектуальної

6. Орієнтований перелік ілюстративного матеріалу:

- 1) Багатоагентний підхід в системі енергетичної інфраструктури
- 2) Архітектура системи управління електроспоживанням
- 3) Блок-схема алгоритму оптимізації електроспоживання
- 4) Математична модель
- 5) Архітектура програмного агента
- 6) Діаграма класів програмного агента
- 7) Діаграма послідовностей програмного агента
- 8) Дерево функцій програмного агента
- 9) Інтерфейс програмного агента

7. Орієнтований перелік публікацій

Розробка агента моніторингу і управління попитом на електричну енергію “розумного будинку” (збірник “Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики” XVII міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрів, студентів)

8. Дата видачі завдання “ 28 ” вересня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	28.09.18 р.	
2	Опрацювання літературних джерел	01.10.18 р. – 03.02.19 р.	
3	Підготовка матеріалів дисертації	04.02 – 31.05.19 р.	
4	Підготовка доповідей на конференції	11.03 – 29.03.19 р.	
6	Розробка програмного продукту	03.06 – 25.10.19 р.	
5	Переддипломна практика	02.09 – 25.10.19 р.	
7	Захист програмного продукту	26.10.19 р.	
8	Розробка стартап-проекту	11.11 – 19.11.19 р.	
9	Передзахист	20.11.19 р.	
10	Оформлення дисертації	21.11- 29.11.19 р.	
11	Захист	16.12.19 р.	

Студент

(підпис)

Шарнін С. А.

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник

(підпис)

Ковальчук А. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 26 найменувань. Обсяг дисертації становить 88 сторінок, робота має 21 рисунок, 32 таблиці, 23 формули, 1 додаток.

Актуальність теми. На фоні збільшення частки тарифів із значною диференціацією ціни на електроенергію, що є наслідком подальшої децентралізації моделі енергопостачання, користувач вже не в змозі управляти енергетичною інфраструктурою самостійно без додаткових інструментів, оскільки йому буде необхідно враховувати декілька аспектів, серед яких мінімізація витрат, рівень виникаючих при зміні режиму електроспоживання незручностей, експлуатаційні проблеми і особливості електроприладів, баланс електронавантаження.

Тому постає задача забезпечити споживача таким інструментом, задачею якого є, знаючи прагнення або необхідність у використанні тих чи інших електроприладів (час приготування їжі, режими кондиціонування, прання тощо), терміни виконання, створити сценарій функціонування всіх елементів енергетичної інфраструктури з метою мінімізації фінансових витрат на енергію. Зрозуміло, що повна свобода в виборі режиму системи забезпечить мінімум витрат коштів, але призведе до значних незручностей для користувача. А зменшення цієї свободи призводить до збільшення витрат. Тому система і користувач повинні вийти на гармонізацію режимів співіснування. Розроблюваний інструмент повинен надавати користувачу можливість налаштування рівня виникаючих незручностей, аби користувач міг їх оцінити та обрати оптимальний режим енерговикористання.

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення системи моделювання та управління попитом на енергію інтелектуальної будівлі відповідно до вартості енергії за зонними тарифами.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення наступних завдань:

- аналіз сучасних інформаційних засобів управління попитом на електроенергію зі сторони користувача;
- розробка математичної моделі планування енергоресурсозберігаючих алгоритмів функціонування електроспоживачів;
- розробка та програмна реалізація архітектури системи управління сценаріями поведінки елементів інженерної, зокрема енергетичної, інфраструктури з застосуванням генетичного алгоритму та агентного підходу;
- імітаційні дослідження прототипу розробленої системи з метою оптимізації сценаріїв поведінки.

Об’єкт дослідження. Інформаційні системи аналітики та моделювання технологічних процесів інтелектуальної будівлі.

Предмет дослідження. Програмні засоби моделювання та управління режимами функціонування інженерної інфраструктури в реальному часі.

Методи дослідження. Методи дослідження включають імітаційне моделювання споживання електричної енергії, методи математичної статистики, методи структурно-функціонального аналізу інформаційно-аналітичних платформ, метод об’єктно-орієнтованого аналізу для опису об’єктів предметної області, методи об’єктно-орієнтованого програмування для побудови модулі формування сценаріїв поведінки елементів системи.

Іноваційна новизна одержаних результатів полягає у вирішенні актуальної проблеми управління попитом на електричну енергію, а саме:

- запропоновано нову модель управління попитом на енергію зі сторони споживача відповідно до вартості енергоносіїв за зонними тарифами з застосуванням генетичного алгоритму;
- удосконалено генетичний алгоритм моделювання режимів енергоспоживання за рахунок введення налаштувань рівня свободи вибору системи, що визначає рівень довіри до системи зі сторони

споживача у синтезі енергоефективних та ресурсощадних сценаріїв поведінки елементів системи;

- розроблено нову модель розробки сценаріїв поведінки для кожного з елементів інженерної інфраструктури за критерієм мінімальних витрат на енергію з дотриманням комфортних умов для споживача;
- вперше застосовано агентний підхід до розробки програмної частини системи управління попитом на енергію зі сторони споживача, що створює можливості для реалізації повної автоматизації процесів управління без втручання людини.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні програмної системи для забезпечення ефективного та контрольованого електроспоживання згідно концепції «управління на стороні попиту».

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, включених до дисертації, представлені на XVII міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрів, студентів на тему «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» 2019 року.

Публікації. Тези доповідей публікувалися в збірнику «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» XVII міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрів, студентів.

Ключові слова. РОЗУМНА БУДІВЛЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ, УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ.

ABSTRACT

The dissertation consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of used sources of 26 titles. The scope of the dissertation is 88 pages, the work has 21 figures, 32 tables, formulas, 1 application.

Actuality of theme. Against the background of increasing share of tariffs with significant differentiation of electricity prices, which is a consequence of further decentralization of the energy supply model, the user is no longer able to manage the energy infrastructure on his own without additional tools, as he will have to take into account several aspects, including cost minimization and the level of costs arising. mode power consumption inconvenience, operational problems and features of electrical appliances, balance of electrical load.

Therefore, the task is to provide the consumer with such a tool, the task of which is knowing the desire or need for the use of certain electrical appliances (cooking time, air-conditioning, washing, etc.), deadlines, create a scenario for the operation of all elements of energy infrastructure in order to minimize financial costs energy. It is clear that complete freedom to choose the mode of the system will provide the least cost, but will lead to considerable inconvenience for the user. And reducing that freedom leads to higher costs. Therefore, the system and the user must move towards harmonization of coexistence modes. The tool being developed should give the user the ability to adjust the level of inconvenience that the user can evaluate and choose the optimum mode of energy use.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the dissertation is to create a system for modeling and managing the demand for energy of an intelligent building in accordance with the cost of energy at zone rates.

This goal is achieved by solving the following problems:

- analysis of modern information tools for managing demand for electricity from the user side;
- development of a mathematical model for the planning of energy saving algorithms for the functioning of electricity consumers;

- development and program implementation of the architecture of the scenario management system for the behavior of elements of engineering, including energy, infrastructure using a genetic algorithm and agent approach;
- simulation studies of the prototype of the developed system in order to optimize behavior scenarios.

Object of study. Information systems analytics and modeling of technological processes of intellectual building.

Subject of study. Software tools for modeling and managing the modes of operation of engineering infrastructure in real time.

Research methods. Research methods include simulation modeling of electricity consumption, mathematical statistics methods, methods of structural and functional analysis of information-analytical platforms, method of object-oriented analysis for description of objects of the subject area, methods of object-oriented programming for the construction of scenarios behavior of system elements.

The innovative novelty of the obtained results is to solve the urgent problem of managing the demand for electricity, namely:

- a new model for managing demand for energy from the consumer side in accordance with the cost of energy at zone tariffs with the use of a genetic algorithm is proposed;
- improved genetic algorithm for simulation of energy consumption modes by introducing the settings of the level of freedom of choice of the system, which determines the level of trust in the system from the consumer side in the synthesis of energy efficient and resource-saving scenarios of behavior of system elements;
- a new model for developing behavior scenarios for each of the elements of the engineering infrastructure based on the criterion of minimum energy costs was developed, while maintaining comfortable conditions for the consumer;

- For the first time, an agent-based approach to the development of the software part of the energy demand management system has been applied, which creates opportunities for full automation of control processes without human intervention.

The practical significance of the results is the development of a software system to ensure efficient and controlled electricity consumption according to the concept of demand side management.

Testing the results of the thesis. The results of the research included in the dissertation are presented at the 18th International Scientific and Practical Conference of postgraduate, masters and students on the topic "Modern problems of scientific support of energy" in 2019.

Publications. The abstracts were published in the collection "Modern problems of scientific support of energy" of the XVIIth international scientific-practical conference of postgraduate students, masters, students.

Keywords. SMART HOUSE, ELECTRICITY OPTIMIZATION, DEMAND SIDE MANAGEMENT, GENETIC ALGORITHM.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	13
ВСТУП.....	14
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	16
1.1 Концепція управління попитом на електроенергію з боку користувача	16
1.2 Диференційовані за часом тарифи на енергію	18
1.3 «Інтелектуальна будівля»	20
1.4 Інтелектуальна мережа електропостачання.....	20
1.5 Задача розробки агента управління попитом на енергію «інтелектуальної будівлі»	21
Висновки до розділу 1	22
2. МОДЕЛЬ АГЕНТА УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ .	24
2.1 Математична модель.....	24
2.2 Пошук методу розв’язку задачі.....	29
2.3 Генетичний алгоритм.....	31
2.3.1 Загальна схема алгоритму	32
2.3.2 Стратегія відбору	35
2.3.3 Стратегія формування нової популяції.....	35
2.3.4 Умова зупинки	35
2.3.5 Схема реалізованого алгоритму.....	35
2.4 Отримані результати планування енергоспоживання.....	37
Висновки до розділу 2	50
3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	52
3.1 Платформа .NET Framework і мова програмування C#.....	52
3.2 Інтерфейс програмування додатків Windows Forms	53
3.3 Моделювання розробленого програмного забезпечення.....	55
3.3.1 Діаграма варіантів використання.....	55
3.3.2 Діаграма класів	56
3.3.3 Схема бази даних	58
3.3.4 Діаграма послідовності.....	58
3.4 Графічний інтерфейс користувача	60

Висновки до розділу 3	62
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	64
4.1 Опис ідеї проекту	64
4.1.1 Зміст ідеї, напрямки застосування, вигоди користувачів	64
4.1.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї	65
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	66
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	67
4.3.1 Аналіз попиту.....	67
4.3.2 Потенційні групи клієнтів	68
4.3.3 Аналіз ринкового середовища	69
4.3.4 Аналіз пропозиції.....	70
4.3.5 Детальний аналіз умов конкуренції в галузі	72
4.3.6 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності	73
4.3.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.....	73
4.3.8 Аналіз стартап-проекту за типом SWOT	74
4.3.9 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту	74
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	75
4.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку	75
4.4.2 Базова стратегія розвитку.....	76
4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки.....	76
4.4.4 Стратегія позиціонування	77
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	77
4.5.1 Маркетингова концепція товару, який отримає споживач.....	77
4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару	78
4.5.3 Цінові межі.....	78
4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту.....	79
4.5.5 Концепція маркетингових комунікацій	79
Висновки до розділу 4	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83
ДОДАТОК	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DSM – (англ. demand side management) концепція управління попитом на енергію з боку користувача

SG – (англ. smart grid) інтелектуальна мережа електропостачання

GUI – (англ. graphical user interface) графічний інтерфейс користувача

ГЧ – категорія електроприладів, час запуску яких можна гнучко змінювати, протягом допустимого часу їх роботи

ГП – категорія електроприладів, профіль споживаної потужності яких можна гнучко змінювати

НГ – категорія електроприладів, час запуску і профіль споживаної потужності яких жорстко визначений

ГА – генетичний алгоритм

ООП – об’єктно-орієнтоване програмування

БД – база даних

ОС – операційна система

РСУБД – реляційна система управління базами даних

ціл. ф. – цільова функція

кіл. з. – кількість тарифних зон

ВСТУП

Енергетичні системи продовжують еволюціонувати. На фоні домінуючих джерел електроенергії на основі вуглеводневого палива з'являються відновлювальні джерела енергії, від односторонності потоків електроенергії – від генератора до споживача, переходять до активних моделей поведінки споживача, відбувається поява технологій накопичення енергії [1]. Децентралізація стає характерною рисою нової моделі енергопостачання. Це веде до подальшого збільшення частки тарифів із значною диференціацією ціни на електроенергію.

Споживач буде не в змозі управляти енергетичною інфраструктурою самотійно без додаткових інструментів, оскільки йому буде необхідно враховувати декілька аспектів, серед яких мінімізація витрат, рівень виникаючих при зміні режиму електроспоживання незручностей, експлуатаційні проблеми і особливості електроприладів, баланс електронавантаження. Тому постає задача забезпечити споживача таким інструментом. Завдання такого інструменту, знаючи прагнення або необхідність у використанні тих чи інших електроприладів (час приготування їжі, режими кондиціонування, прання тощо), терміни виконання, створити сценарій функціонування всіх елементів енергетичної інфраструктури з метою мінімізації фінансових витрат на енергію.

Зрозуміло, що повна свобода в виборі режиму системи забезпечить мінімум витрат коштів, але призведе до значних незручностей для користувача. А зменшення цієї свободи призводить до збільшення витрат. Тому система і користувач повинні вийти на гармонізацію режимів співіснування.

Концепція управління попитом на електроенергію з боку користувача є системою методів, що спонукають споживачів змінювати свою модель енергоспоживання і переносити навантаження з пікових годин на непікові. Споживачі регулюють свої потреби в електроенергії у відповідь на стимулюючі виплати, передбачені щоб знизити споживання в періоди високих цін на електроенергію. Тобто, розроблювальний інструмент є програмним засобом

забезпечення впровадження і використання цієї концепції на енергетичному ринку.

Метою роботи є створення програмного агента, який зможе ефективно планувати потреби споживачів в електроенергії, тобто щоб мінімізувати фінансові витрати на електроенергію при мінімальній незручності для користувача. У літературі описана значна робота щодо зміни структури споживання електроенергії споживачами з метою зменшення фінансових витрат, пікового попиту на електроенергію.

Основними недоліками розроблених систем є проблема врахування рівня незручностей користувача. Розроблюваний інструмент повинен надавати користувачу можливість налаштування рівня виникаючих незручностей, аби користувач міг їх оцінити та обрати оптимальний режим енерговикористання.

Пропонована структура є визначеною та заснована на використанні одно-, двох-, трьох-, а також пропонованими автором шести- і двадцятичотирьохзонних тарифах на електроенергію.

Робота включає в себе аналіз концепції управління попитом з боку користувача, аналіз відповідної інфраструктури, яка є засобом реалізації концепції, огляд математичної моделі планування електроспоживання, побудову програмної моделі планування електроспоживання, розробку визначеного задачею програмного агента.

Агент є актуальним для систем, де важливим є питання енергозбереження. Коло можливих користувачів агента – підприємства енергетичної галузі, наукові і освітні установи енергетичних напрямів, постачальники енергоефективного обладнання, технологій, послуг з енергозбереження, домогосподарства та інші побутові споживачі електроенергії [2].

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Концепція управління попитом на електроенергію з боку користувача

Управління попитом на електроенергію з боку користувача - зміна споживання електроенергії кінцевими споживачами щодо їх нормального профілю навантаження у відповідь на зміну цін на електроенергію в часі або у відповідь на стимулюючі виплати, передбачені щоб знизити споживання в періоди високих цін на електроенергію на оптовому ринку або коли системна надійність під загрозою [3]. Особливості електроенергії як товару, обумовлені її фізичними властивостями, визначають необхідність безперервної підтримки балансу виробництва та споживання. За відсутності спеціальних заходів стимулювання споживачів попит на електроенергію не залежить або мало залежить від цін на ринку, споживачі не знижують споживання при зростанні ціни. З ростом навантаження для задоволення цього зростання залучаються менш ефективні генератори. Шляхом зниження навантаження в такі періоди енергосистема і ринок потенційно могли б уникнути використання менш ефективних генераторів для задоволення підвищеного попиту. В умовах нееластичного попиту активною стороною, яка визначає ціну на електроенергію, виступають виробники. Ринки електроенергії проектується таким чином, щоб стимулювати учасників підтримувати баланс виробництва та споживання електроенергії. Використання цифрових інтервальних лічильників електроенергії, «інтелектуальних» мереж (англ. SG – smart grid) дає можливість підвищення еластичності споживання шляхом цілеспрямованого впливу на обладнання споживача коли це необхідно. Сутність концепції управління попитом з боку користувача (англ. DSM - demand side management) у цілеспрямованому і систематичному впливі енергетичного підприємства на обсяги, структуру і режими енергоспоживання.

Управління попитом з боку користувача є ефективним інструментом зниження цін на ринку електричної енергії в пікові години, коли для покриття попиту на електроенергію залучаються менш ефективні генеруючі об'єкти. При цьому відносно невелике зниження споживання може привести до істотного зниження ціни на електроенергію.

Економічна ефективність концепції, яка виступає в якості альтернативи будівництва нових енергетичних потужностей, обумовлена істотно нижчими витратами на енергозбереження в порівнянні з виробництвом додаткової електричної енергії (від 2 до 10 разів), а також відносно малими термінами окупності інвестицій (1-3 роки) [4]. Застосування цього механізму є вигідним для усіх суб'єктів енергоринку:

- для споживачів - підвищується енергоефективність, раціоналізується режим електричного споживання, знижується вартість енергопостачання шляхом усунення надмірного попиту на енергію;
- для генеруючих і мережевих підприємств - усувається загроза втрати доходів через нарощування власної генерації. Внаслідок зниження невизначеності попиту підвищується якість планування розвитку енергетичних потужностей;
- для постачальників енергоефективного обладнання та послуг з енергозбереження.

Основні сторони енергозабезпечення згідно концепції – покращення ефективності використання енергії споживачами і розвиток генеруючих, мережевих потужностей енергетичних підприємств. Зекономлена енергія виступає в якості ресурсу, що заміщує вироблення і передачу потрібної кількості енергії. Завдяки активному формуванню попиту на енергію і потужності, енергетичне підприємство отримує можливість забезпечити додаткові енергетичні потреби свого регіону з мінімальними витратами. Стимулювання споживача знизити власні енергетичні потреби засноване на фінансових стимулах у виді:

- диференційованих тарифів на енергію,

- знижок на енергоефективне обладнання,
- заходів щодо маркування побутової техніки (особливо кондиціонерів і холодильників) з метою дати відомості споживачеві про клас енергетичної ефективності та інше.

1.2 Диференційовані за часом тарифи на енергію

Більшість споживачів електроенергії масового ринку, наприклад житлові квартири або дрібні комерційні установи, використовують лічильники з одним регістром даних, який просто накопичує споживання з плином часу. Таким чином, ці споживачі можуть виставляти рахунки тільки за електроенергію, яку вони використовують у відповідності з наступними типами цін:

- фіксовані тарифи - використання протягом певного періоду часу (наприклад, 30-денний платіжний цикл) оплачується по одній і тій же ставці;
- багаторівневі тарифи - зазвичай стягують іншу ціну в залежності від обсягів використання електроенергії (наприклад, перші 100 кВт проти наступних 100 кВт) протягом певного періоду часу (наприклад, 30-денний цикл виставлення рахунків) [5].

Такі схеми тарифів на електроенергію не відображають зміну в часі (наприклад, від години до години, день у день, від сезону до сезону) вартості виробництва електроенергії.

Використовуючи інтелектуальні лічильники, комунальні підприємства тепер можуть реєструвати споживання електроенергії набагато частіше (наприклад, кожні 15 хвилин), що дозволяє клієнтам масового ринку знайомитися з новими типами програм ціноутворення, які краще відображають відмінності з часом у вартості виробництва електроенергії.

Концепція DSM включає різні види тарифів, що засновані на часі доби, тобто загальним для них є зміна ціни із часом, різні ціни діють для різних годин в різні дні:

- тариф, диференційований за часом (зонам) доби (англ. time-of-use pricing) - передбачає поділ доби на кілька (два і більше) інтервалів («зон»), для кожного з яких встановлена фіксована ціна на електроенергію,
- тариф, що змінюється в режимі реального часу (англ. real-time pricing) - тариф на електроенергію залежить від її вартості в момент споживання і зазвичай визначається для кожної години доби,
- тариф із змінним піком споживання (англ. variable peak pricing) - поєднання двох зазначених вище підходів: тариф, диференційований за зонами доби, при використанні якого ціна для пікової зони визначається в залежності від актуальних умов на ринку,
- тариф з критичним піком споживання (англ. critical peak pricing) - якщо оператор ринку електроенергії очікує високих цін на електроенергію або складних умов функціонування енергосистеми, то він може оголосити критичний пік споживання (наприклад, з 16 до 19 годин в спекотний літній будній день) із значним збільшенням ціни на електроенергію під час такого піку. Тривалості піків і ціна на електроенергію в ці періоди можуть бути визначені заздалегідь або варіюватися в залежності від потреби в зниженні пікового навантаження,
- знижки в періоди критичного споживання (англ. critical peak rebates) - якщо оператор ринку електроенергії очікує високих цін на електроенергію або складних умов функціонування енергосистеми, то він може оголосити критичний пік споживання з наданням винагороди заздалегідь певної величини споживачам, що знизив споживання під час такого піку щодо очікуваного рівня [5, 6].

1.3 «Інтелектуальна будівля»

«Інтелектуальна будівля» (англ. smart home або також smart automation) забезпечує

- злагоджену роботу інженерних систем у будинку (систем життєзабезпечення, таких як: освітлення, опалення, вентиляція, кондиціонування, водопостачання, каналізації, і т. д.),
- контроль чинників, що впливають на необхідність включення або відключення вище зазначених систем.

Сутність «інтелектуальної будівлі» в автоматизації задання і відслідковування режимів роботи інженерних систем і електроприладів згідно з зовнішніми і внутрішніми умовами. Основними цілями створення системи «інтелектуальної будівлі» є:

- забезпечення ефективності енергоспоживання (в тому числі за рахунок участі в управлінні попитом на електроенергію),
- поліпшення комфорту,
- підвищення безпеки.

Програмний агент є складовою частиною системи автоматизованого управління інженерним обладнанням будівель.

1.4 Інтелектуальна мережа електропостачання

Основними недоліками традиційної мережі електропостачання є:

- управління економічною диспетчеризацією,
- моніторинг мережі,
- виявлення несправностей,
- самовідновлення,
- управління попитом у режимі реального часу [7].

Для подолання вказаних вище проблем була проведена дослідна робота, результатом якої стала поява технології інтелектуальної мережі електропостачання (англ. smart grid).

Інтелектуальна мережа електропостачання - це модернізовані мережі електропостачання, які використовують інформаційні і комунікаційні мережі і технології для збору інформації про енерговиробництво і енергоспоживання, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду, а також стійкість виробництва і розподілу електроенергії [8]. Використання інтелектуальної мережі задовольняє потребу в енергії значного числа споживачів під час автономної роботи.

Інтелектуальна мережа є одним із засобів реалізації концепції DSM. DSM сприяє ефективному використанню енергії, приділяючи особливу увагу стабільності і надійності мережі. Оскільки контролюється енергоспоживання користувачів в реальному часі і автоматично розподіляється надлишкова потужність системи, одночасно контролюючи енергоспоживання користувачів для підтримки стабільності мережі. DSM забезпечує локальне диспетчерське управління розподіленою генерацією

1.5 Задача розробки агента управління попитом на енергію «інтелектуальної будівлі»

Метою роботи є розробити програмний інструмент для однієї будівлі, який може ефективно планувати потреби споживачів в електроенергії. Інструмент реалізовує механізм підвищення енергоефективності - концепцію управління попитом на електроенергію з боку користувача. Тобто необхідно створити програмний інструмент для встановлення режиму роботи приладів електричного споживання у відповідності до попиту у зовнішній енергетичній мережі із узгодженням з потребами кінцевого користувача. Програмний агент має бути складовою частиною системи автоматизованого управління інженерним обладнанням будівель - «інтелектуальна будівля».

Програмний агент повинен розв'язувати наступні задачі:

- організація внесення, корекції, зберігання даних про
 - характеристики приладу електроспоживання,
 - тарифи на електроенергію;

- планування електроспоживання приладів, забезпечуючи мінімізацію фінансових витрат при збереженні комфорту енерговикористання;
- налаштування користувачем можливості вибору з поміж двох пріоритетів планування:
 - вартості електроспоживання,
 - комфорту енерговикористання;
- генерація звіту про результати планування електроспоживання, що має включати наступні дані:
 - вартість електроспоживання загальна (обраного приладу) за добу (за обраний проміжок часу протягом доби),
 - дискомфорт енерговикористання загальний (обраного приладу) за добу (за обраний проміжок часу протягом доби),
 - пікова споживана потужність загальна.

Отже, для виконання основної задачі необхідно:

- аналіз інфраструктури інтелектуальної мережі електропостачання;
- постановка задачі оптимізації енергоспоживання;
- розробка оптимізаційного алгоритму планування енергоспоживання;
- аналіз інструментарію реалізації програмного додатку.

Для виконання роботи використовується операційна система Windows 10. Для розробки додатку обрана програмна платформа .NET Framework, яка є найбільш інтегрованою для створення додатків на базі сімейства операційних систем Windows. Додаток має бути запрограмований на мові C# з використанням інтерфейсу програмування застосунків Windows Forms.

Висновки до розділу 1

Аналіз тенденцій розвитку енергетичної інфраструктури за концепцією інтелектуальної мережі (англ. smart grid), режимів управління електроспоживанням дало можливість визначити необхідні вихідні умови для формування критеріїв і характеристик при створенні системи ефективного

енергопланування за концепцією управління попитом на електроенергію з боку користувача (англ. demand side management).

На цій основі була поставлена задача розробки програмного інструменту, задачею якого є планування електроспоживання для групи електроприладів за умови забезпечення мінімізації фінансових витрат і при цьому збереженні комфорту енерговикористання. Для вирішенні цієї задачі необхідно розробити математичну і програмну модель планування електроспоживання, провести аналіз інструментарію для реалізації програмного додатку. Засоби, методи, результати реалізації цієї задачі буде наведено у наступних розділах.

2. МОДЕЛЬ АГЕНТА УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

2.1 Математична модель

Споживачі коректують свою модель електроспоживання відповідно до тарифів, що змінюються із часом (підрозділ 1.2), задля мінімізації витрат на електроенергію. Розглядаються гнучкі і негнучкі електроприлади [9]. Негнучкі прилади працюють за вимогою з фіксованою номінальною потужністю, у той час як гнучкі прилади можуть гнучко затримувати свою роботу або змінювати профіль споживаної потужності. До негнучких приладів можна віднести холодильник, НВЧ-піч, електрочайник, електроплиту. Ці прилади мають фіксований час початку і закінчення роботи. Затримки не допускаються, профіль електроспоживання не може бути змінений.

Загальна споживана потужність за годину для всіх приладів:

$$PC_{t \in T} = \sum_{i=1}^n P_i^t \times X_i^t$$

$$X_i^t = \begin{cases} 1 & \forall t_s \leq t \leq t_f \\ 0 & \end{cases} \quad (2.1)$$

де P_i^t - споживана потужність приладу i у момент часу t ,

X_i^t - змінна рішення, яка представляє стан приладу i у момент часу t

$X_i^t = 1$ - прилад увімкнений, $X_i^t = 0$ - прилад вимкнений

Загальна споживана потужність за добу для всіх приладів:

$$PC_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{24} P_i^t \times X_i^t$$

$$X_i^t = \begin{cases} 1 & \forall t_s \leq t \leq t_f \\ 0 & \end{cases} \quad (2.2)$$

Загальна вартість електроспоживання за добу залежить від двох чинників:

- споживана потужність приладу,
- ціна на електроенергію у цей період часу.

Загальна вартість електроспоживання за добу:

$$Cost_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{24} P_i^t \times X_i^t \times EP_t$$

$$X_i^t = \begin{cases} 1 & \forall t_s \leq t \leq t_f \\ 0 & \end{cases} \quad (2.3)$$

де EP_t - ціна на електроенергію у період часу роботи приладу.

Гнучкі прилади поділяються на дві категорії:

- гнучкі прилади за часом app_{ff} ,
- гнучкі прилади за потужністю app_{pf} .

Гнучкі прилади за часом мають гнучкий час запуску, але фіксований час закінчення роботи. Запущений прилад відпрацює протягом усього робочого циклу неперервно, споживаючи фіксоване значення напруги. До таких приладів можна віднести пральну машину, посудомийну машину, водонагрівач.

$$X_i^t = \begin{cases} 1, & \forall t_s \leq t \leq t_f \wedge \varepsilon_t > 0 \\ 0 & \end{cases}$$

$$P_t = \xi_a \quad (2.4)$$

де ε_t - тривалість часу роботи приладів,

ξ_a - номінальна споживана потужність негнучких приладів.

Гнучкі прилади за потужністю мають фіксований час запуску і закінчення роботи, але профіль споживаної потужності гнучкий. До таких приладів можна віднести кондиціонер, прилади освітлення. Формула 2.5 показує, що електроспоживання змінюється в інтервалі між мінімальною та максимальною споживаними потужностями.

$$X_i^t = \begin{cases} 1, & \forall t_s \leq t \leq t_f \\ 0 & \end{cases}$$

$$P_t = [\min \xi_a \max \xi_a] \quad (2.5)$$

де ε_t - тривалість часу роботи приладів,

ξ_a - номінальна споживана потужність негнучких приладів.

Гнучкі за часом прилади можуть відкласти свою роботу до іншого інтервалу часу, де ціна на електроенергію менше, але затримка призведе до дискомфорту користувача. Аналогічно викличе дискомфорт робота гнучкого за потужністю приладу при низькому режимі споживаної потужності.

Наведемо вирази для обчислення дискомфорту користувача при використанні гнучких приладів [9]. Дискомфорт користувача, викликаний гнучкими за часом приладами:

$$\mathcal{G}(t_a^b) = \rho |t_a^{b^*} - t_a^b|^k \quad (2.6)$$

де $t_a^{b^*}$ - час запиту на увімкнення приладу,

t_a^b - фактичний час увімкнення приладу,

k - коефіцієнт робочих характеристик приладу,

ρ - коефіцієнт дискомфорту приладу.

Дискомфорт користувача, викликаний гнучкими за потужністю приладами визначається функцією Тагучі:

$$\mathcal{G}(PC_a^t) = \omega_a (P_a^t - P_a^{t^*})^2 \quad (2.7)$$

де ω_a - коефіцієнт дискомфорту приладу,

P_a^t - нормальна споживана потужність,

$P_a^{t^*}$ - споживана потужність, відхилена від нормальної [10].

Функція втрат Тагучі мінімальна при $P_a^t = P_a^{t^*}$ й збільшується в міру відхилення потужності від нормального електроспоживання. Функція втрат Тагучі визначає зв'язок між відхиленням споживаної потужності від нормального електроспоживання і економічними втратами. $P_a^{t^*} + \Delta$ - відхилення від нормального електроспоживання, при якому відбувається збій у роботі пристрою. Коли відхилення споживаної потужності наближається до крайніх значень й прилад споживає потужність $P_a^t + \Delta$ або $P_a^t - \Delta$ споживачам необхідно

прийняти контрзаходи. Вважаючи що значення контрзаходу рівне A при $P_a^t + \Delta$ або $P_a^t - \Delta$, параметр ω_a визначається як

$$\omega_a = \frac{A}{\Delta^2} \quad (2.8)$$

Загальний дискомфорт, що викликаний обома типами приладів, розраховується за формулою 2.9:

$$\mathcal{G}_{total} = \mathcal{G}(t_a^b) + \mathcal{G}(PC_a^t) \quad (2.9)$$

Визначимо задачу оптимізації електроспоживання. Загальна мета – мінімізувати

- витрати на електроенергію (формула 2.3),
- дискомфорт користувача (формула 2.9).

Обидві цілі розв'язуються одночасно методом лінійної зваженої суми [11].

Цільова функція у загальному випадку виглядає наступним чином:

$$w_1 (Cost_{total}) + w_2 (\mathcal{G}_{total}) \quad (2.10)$$

за умов:

$$Cost_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{24} P_i^t \times X_i^t \times EP_t, \quad (2.11)$$

$$P_i^t = \xi_a \quad \forall i \in app_{tf}, \quad (2.12)$$

$$P_i^t = [\min \xi_a \max \xi_a] \quad \forall i \in app_{tf}. \quad (2.13)$$

Формула 2.11 визначає вартість електроспоживання приладу за добу. Формули 2.12, 2.13 електроспоживання гнучких за часом і гнучких за потужністю приладів відповідно. Профіль споживаної потужності гнучких за часом приладів є фіксованим. Гнучкі за потужністю прилади можуть змінювати свій профіль споживаної потужності від мінімальної до максимальної межі.

Частина цільової функції, що має більшу вагу, буде вносити більший вклад в загальну цільову функцію. Корируючи вагові коефіцієнти w_1 w_2 , що характеризують важливість кожної з двох цілей оптимізації та порівнюючи отримані значення контрольованих характеристик електроспоживання (вказати

розділ постановки задачі) користувач обирає оптимальне значення вагових коефіцієнтів.

Визначимо цільову функцію для двох категорій гнучких приладів. Для гнучких за часом приладів:

$$w_1 \sum_{t=1}^{24} P_i^t \times X_i^t \times EP_t + w_2 \rho (t_a^b - t_a^b)^k \quad (2.14)$$

за умов:

$$X_i^t = \begin{cases} 1, & \forall t_s \leq t \leq t_f \wedge \varepsilon_t > 0 \\ 0 & \end{cases}, \quad (2.15)$$

$$P_i^t = \xi_a \quad \forall i \in app_{pf}, \quad (2.16)$$

$$t_a^b \in [1, 2, \dots, 24]. \quad (2.17)$$

t_a^b включає тільки цілочисельні змінні (формула 2.17). Для гнучких за потужністю приладів:

$$w_1 \sum_{t=1}^{24} P_i^t \times X_i^t \times EP_t + w_2 \omega_a (P_a^t - t_a^t)^2 \quad (2.18)$$

за умов:

$$X_i^t = \begin{cases} 1, & \forall t_s \leq t \leq t_f \\ 0 & \end{cases} \quad (2.19)$$

$$P_t = [\min \xi_a \max \xi_a] \quad \forall i \in app_{pf} \quad (2.20)$$

Задача для гнучких за потужністю приладів може бути розв'язана на кожний часовий інтервал. Обмеження на потужність (формула 2.20) буде неактивним, якщо виконується наступний вираз:

$$\omega_a \geq \frac{EP_t}{2(P_a^t - \min \xi_a)} \quad (2.21)$$

Наведемо відомості про електроспоживання і режим роботи приладів у будинку (таблиця 2.1), параметри дискомфорту приладів (таблиця 2.2) [12].

Таблиця 2.1. Відомості про електроспоживання і режим роботи приладів

Прилад	Категорія	Потуж-ть, кВт	Початок роботи	Кінець роботи	Бажан. час запуску/бажан. потуж-ть, кВт	Тривал. операції
Пральна м.	ГЧ	0.7	18.00	7.00	20.00	2 год.
Посудом. м.	ГЧ	1	7.00	10.00	8.00	1 год.
			14.00	17.00	15.00	
			19.00	23.00	20.00	
Освітлення	ГП	0.2-0.8	18.00	23.00	0.8	6 год.
Кондиціонер	ГП	0.1-1.5	8.00	8.00	1.5	24 год.
Чайник	НГ	1.2	8.00	9.00	—	15 хв.
			17.00	18.00		
			20.00	21.00		
Холодильник	НГ	0.2	8.00	8.00	—	24 год.

Таблиця 2.2. Параметри дискомфорту приладів

Прилад	Категорія	Параметри дискомфорту		
		k	ρ	ω_a
Пральна м.	ГЧ	2	0.001	—
Посудом. м.	ГЧ	7	0.009	—
Освітлення	ГП	—	—	[0.5 - 1]
Кондиціонер	ГП	—	—	[0.4 - 1]

2.2 Пошук методу розв'язку задачі

Основна мета роботи – мінімізація витрат на електроенергію при мінімальній незручності для користувача, сформульована як задача оптимізації (формула 2.10), тобто оптимальний розклад електронавантаження досягається шляхом вирішення задачі мінімізації.

Як правило, математична задача оптимізації формулюється таким чином. Серед елементів x , що утворюють безліч X , знайти такий елемент x^* , який утворює мінімальне значення $f(x^*)$ заданої функції $f(x)$. Аби правильно поставити задачу оптимізації, необхідно задати:

- допустиму множину X ;
- цільову функцію - відображення $f: X \rightarrow R$;
- критерій пошуку (max або min).

Якщо функція, що мінімізується не є випуклою, то, як правило, обмежуються пошуком локальних мінімумів та максимумів: точок x_0 таких, що всюди, в деякому їхньому околі $f(x) \geq f(x_0)$ для мінімуму і $f(x) \leq f(x_0)$ для максимуму. Функцію f називають цільовою функцією. В залежності від множини X задачі математичної оптимізації класифікують наступним чином:

- задачі дискретного програмування (або комбінаторної оптимізації), якщо X скінченна або зліченна;
- задачі цілочисельного програмування, якщо X - підмножина множини цілих чисел;
- задачі нелінійного програмування, якщо обмеження або цільова функція містить нелінійні функції і є підмножиною скінченномірному векторного простору.
- задачі лінійного програмування, якщо всі обмеження і цільова функція містять лише лінійні функції.

Існує безліч методів оптимізації, які можна розділити на три групи:

- детерміновані;
- випадкові (стохастичні);
- комбіновані.

У випадку дослідження шаблон електронавантаження p_{total} для усіх приладів можна виразити наступною матрицею:

$$P_{total} = \begin{bmatrix} P_a^0 & P_a^1 & \dots & P_a^{22} & P_a^{23} \\ P_b^0 & P_b^1 & \dots & P_b^{22} & P_b^{23} \\ & & \dots & & \\ P_z^0 & P_z^1 & \dots & P_z^{22} & P_z^{23} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

де P_a^i - фіксоване електронавантаження приладу a протягом i години.

Тобто множина X є зліченною і скінченною, а оптимізація є задачею дискретного програмування. Беручи до уваги, такі вимоги, що можуть пред'являтися до системи, як обмеженість у часі в прийнятті рішення, можливість масштабування системи, великий інтерес для розв'язку задачі оптимізації представляє генетичний алгоритм.

Найчастіше генетичний алгоритм застосовують при оптимізації багатопараметричних функцій [13]. Задачі формуються, як пошук оптимального значення складної функції, яка залежить від декількох n вхідних параметрів. Перевагою алгоритму перед іншими методами пошуку при розв'язку задачі оптимізації є здатність маніпулювати одночасно багатьма параметрами. В одних випадках буде отриманий точний розв'язок функції, в інших – розв'язком вважається будь-яке значення, що краще деякої заданої величини.

2.3 Генетичний алгоритм

Наведемо пояснення використовуваних термінів.

Популяція - сукупність індивідумів, здатна до стійкого самовідтворення, відносно відособлена від інших груп, з представниками яких потенційно можливий генетичний обмін.

Індивід (особина) - окремий представник популяції.

Генотип - спадкова інформація, закодована в хромосомах, яка разом з факторами зовнішнього середовища визначає фенотип організму. Генотип не завжди відповідає одному і тому ж фенотипу. Деякі гени проявляються у фенотипі тільки в певних умовах.

Ген - певна частина хромосоми, що кодує вроджену якість індивіду.

Хромосома - структура, яка містить генетичний код індивіду.

Фенотип - сукупність характеристик, властивих індивіду на певній стадії розвитку. Фенотип формується на основі генотипу, опосередкованого низкою факторів зовнішнього середовища.

Потомки - результат репродукції одного або декількох індивідів.

2.3.1 Загальна схема алгоритму

Генетичний алгоритм отриманий в процесі узагальнення і імітації в штучних системах властивостей живої природи:

- пристосованість до змін середовища;
- природний відбір;
- успадкування нащадками найбільш "цінних" властивостей батьків і т.д.

Розв'язок задач комбінаторної оптимізації є однією з основних областей застосування ГА. Генетичні алгоритми імітують процес природного добору в природі. Для вирішення завдання, більш оптимального з точки зору деякого критерію, процедури описуються набором чисел або величин нечислової природи. Пошук оптимального рішення схожий на еволюцію популяції індивідів, які представлені їх наборами хромосом. У цій еволюції діють загалом чотири механізми:

- відбір найсильніших наборів хромосом, яким відповідають найбільш оптимальні рішення;
- кросовер, оператор якого відповідає за передачу ознак батьків нащадкам. У літературі цей оператор також називають кросинговер, оператор схрещування, рекомбінації. Кросовер - процес обміну генетичним матеріалом. Це операція, при якій дві хромосоми обмінюються своїми частинами. Відмінною особливістю генетичних алгоритмів від еволюційних є використання оператора кросовера. Як правило, оператор кросовера приймає дві особини і породжує одну або дві.

- мутація - випадкова зміна однієї або декількох позицій у хромосомі. Мутації, які проявляються на рівні фенотипу, можуть мати як негативні наслідки, так і позитивні - призводити до появи у особини нових корисних ознак. Таким чином, мутації є двигуном природного відбору, так як є механізмом підтримки різноманітності особин в популяції;
- генерація випадкової особини. Як правило, виділяють ще один оператор для генетичних алгоритмів - оператор генерації випадкової особини, який може бути використаний при створенні початкової популяції, при поповненні популяції випадковими особинами і в якості мутації.

Особиною генетичного алгоритму прийнято називати деяку гіпотезу $i \in X$. Поколінням або популяцією особин називають безліч гіпотез P_t , де t - вік популяції, а потужність множини гіпотез $|P_t|$ - розмір популяції. Вік особи $i \in P_t$ - число популяцій $P_j : i \in P_j, j \leq t$. Значення цільової функції для особини $i \in P_t$ будемо позначати як $f_t(i)$. Закодований генотип особини прийнято називати хромосомою. Загальна схема роботи генетичного алгоритму зображена на рис. 2.1.

Наведемо принцип дії генетичного алгоритму.

1. Створення початкової популяції. Створити випадкову множину гіпотез $P_t = i_k^t, t = 0$ - початкова популяція.
2. Відбір початкової популяції. Для кожного $i_k^0 \in P_0$ виконати розрахунок $f_0(i_k^0)$.
3. Формування покоління. Відбором особин з P_t й застосування до них генетичних операторів, сформувати покоління $O = i_k^1$.
4. Відбір. Для кожного $i_k^1 \in O$ виконати розрахунок $f_1(i_k^1)$.
5. Формування наступного покоління. Шляхом відбору особин з $P_t \cap O$ сформувати $P_{t+1} = i_k^{t+1}$.

6. Повторювати кроки 3-5 для $t = 1, 2, \dots$ доки не буде виконана умова зупинки.

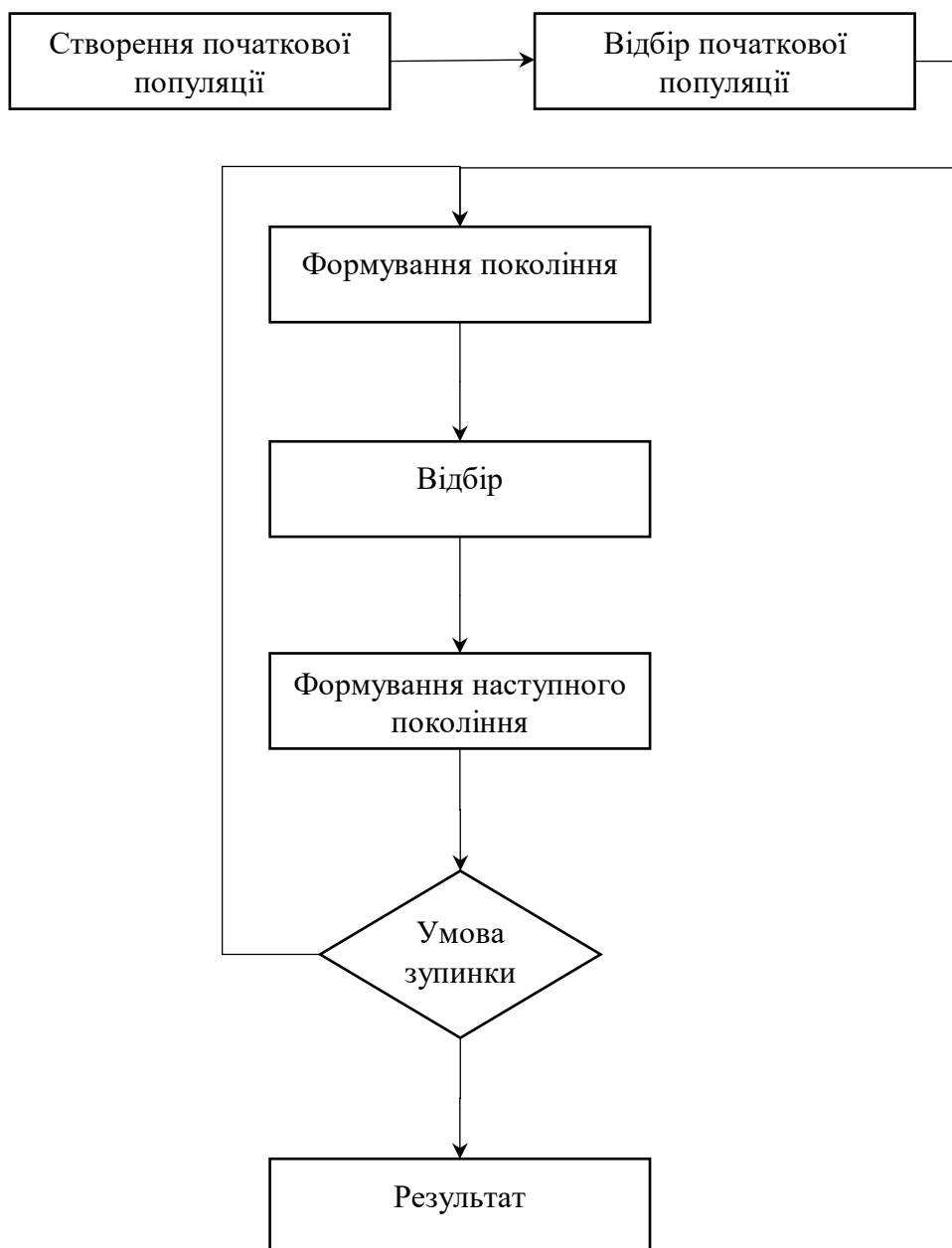


Рисунок 2.1. Загальна схема генетичного алгоритму

2.3.2 Стратегія відбору

Існує декілька стратегій при виборі особин для проведення генетичних операторів і при формування нового покоління. При розробці була використана стратегія відбору за рулеткою. При ньому ймовірність вибору особини $i \in P_t$ прямо пропорційна значенню $f_t(i)$. При цьому необхідне додаткове обмеження на значення цільової функції (формула 2.23):

$$\forall i \in P_t : f_t(i) > 0 \quad (2.23)$$

2.3.3 Стратегія формування нової популяції

Існують декілька підходів при формуванні наступної популяції. При розробці був використаний підход «елітизму». При ньому у нову популяцію завжди потрапляє k кращих особин. Це дозволяє не втратити хорошу особину.

2.3.4 Умова зупинки

Щодо умови зупинки застосований принцип переривання росту пристосованості протягом деякого числа поколінь.

2.3.5 Схема реалізованого алгоритму

Наведемо схему реалізованого у додатку алгоритму.

1. Створити нову популяцію.
2. З популяції обрати двох індивідумів.
3. Виконати розмноження, аби утворити нове потомство.
4. Повернутися до кроку 2, якщо для нової популяції немає достатнього потомства.
5. Виконати заміну старої популяції на нову.
6. Якщо не виконана генерація достатньої кількості поколінь, повернутися до кроку 2.
7. Перегляд результатів.

Блок схема виконаного генетичного алгоритму представлена на рис. 2.2.

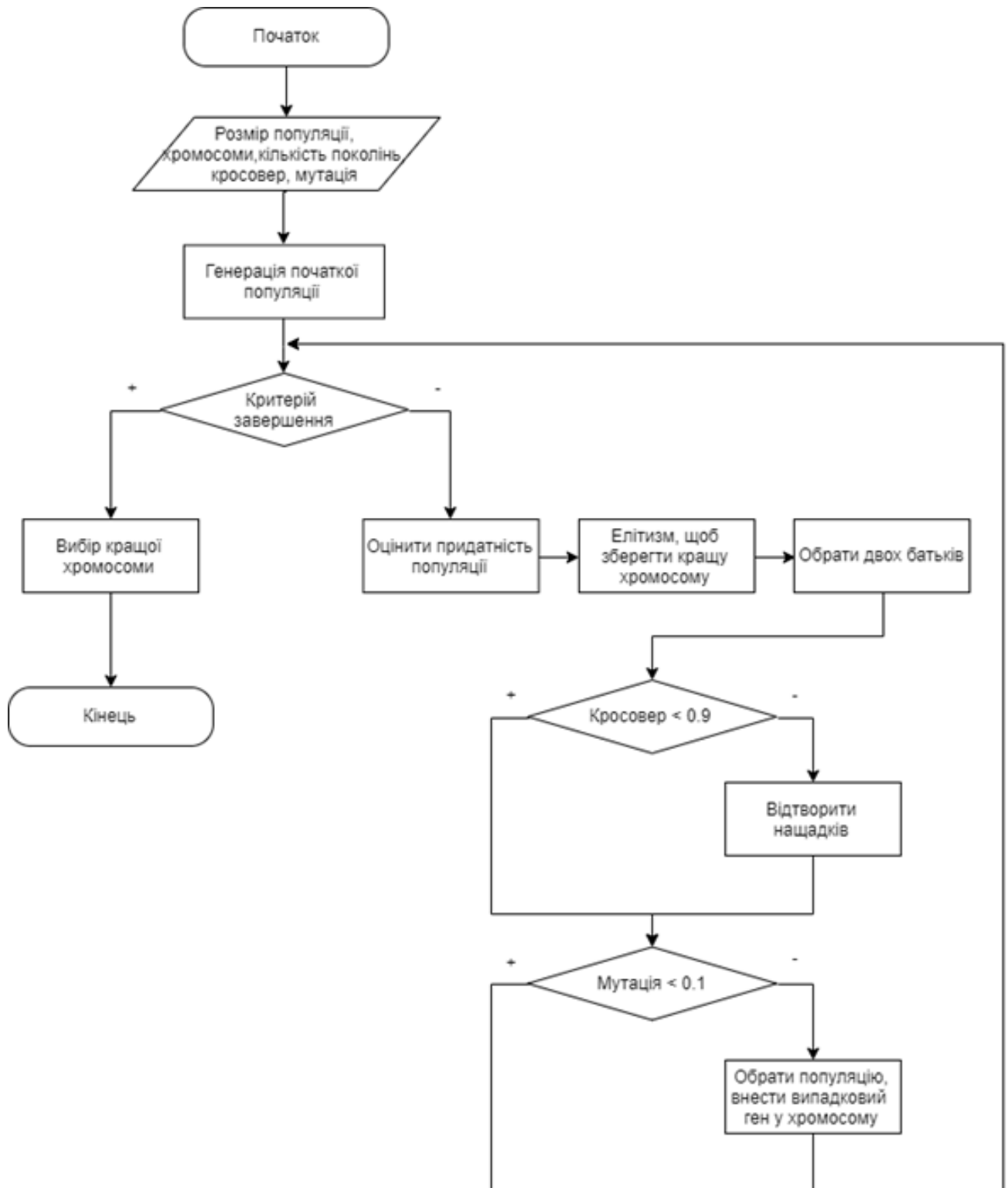


Рисунок 2.2. Блок-схема генетичного алгоритму програмного агента

Параметри використовуваного генетичного алгоритма наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Параметри генетичного алгоритму, що задані агентом

Параметр	Значення
Розмір популяції	300
Кількість поколінь (ітерацій)	200
Кросовер	0.9
Мутація	0.1

2.4 Отримані результати планування енергоспоживання

Планування електронавантаження відбувається відповідно до наступних видів тарифів на електроенергію для населення:

- однозонного тарифу (за обсяг, спожитий до 100 кВт·год електроенергії на місяць),
- двозонного тарифу,
- трьохзонного тарифу [14, 15].

У дослідження включені шестизонний і двадцятичотиризонний тарифи, складені автором. Тарифи на електроенергію наведені у таблиці 2.3, яку демонструє рис. 2.3.

Програмний агент задає режим роботи для споживачів енергії, який коливається між двома крайніми положеннями:

- «жорсткий» режим (мінімальний рівень свободи) – максимальне скорочення фінансових витрат електроспоживання,
- «гнучкий» режим (максимальний рівень свободи) – мінімальне скорочення незручностей, які спричиняє «жорсткий» режим зміною режимів споживання відповідно до тарифних зон.

Таблиця 2.3 Тарифи на електроенергію, в копійках, за 1 кВт·год

Кіл-сть тариф. зон	Час доби																							
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6
	Ціна, коп																							
1	90																							
2	45	90																45						
3	90	135			90									135		90	36							
6	90	150		135	90				65			90		150	135	90	36		20					36
24	60	155	155	135	90	85	80	75	70	60	65	80	95	155	155	80	36	30	10	10	10	10	10	30

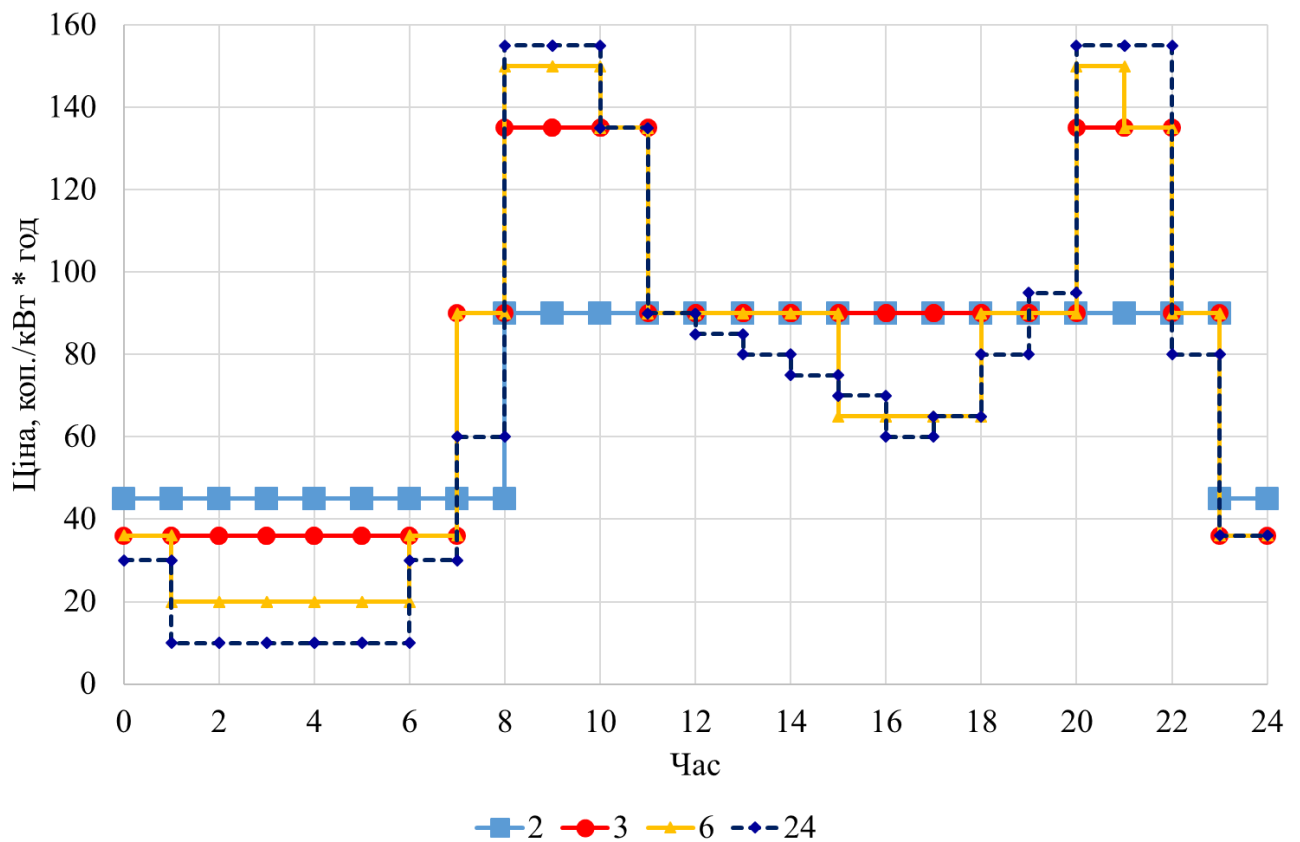


Рисунок 2.3. Тарифи на електроенергію для різних тарифних зон

Горизонт планування складає добу. Рис. 2.3 ілюструє, що інтервали часу з 7.00 до 11.00 і з 20.00 до 22.00 є піковими, напроти, інтервали часу з 1.00 до 6.00 є непіковими. Тобто, для досягнення скорочення фінансових витрат енергоспоживання повинно бути

- перенесено з пікових інтервалів на непікові (для ГЧ пристроїв),
- мінімізовано у пікові інтервали (для ГП пристроїв).

Причинами, що викликають дискомфорт користувача є

- затримка в роботі ГЧ приладів,
- зниження потужності ГП приладів.

Результати планування електроспоживання для максимального, середнього та мінімального рівня свободи користувача згідно з одно- (рис. 2.4-2.6), двох- (рис. 2.7-2.8), трьох- (рис. 2.9), шести- (рис. 2.10) і двадцятичотирьохзонними (рис. 2.11) тарифами представлені у таблиці 2.2.

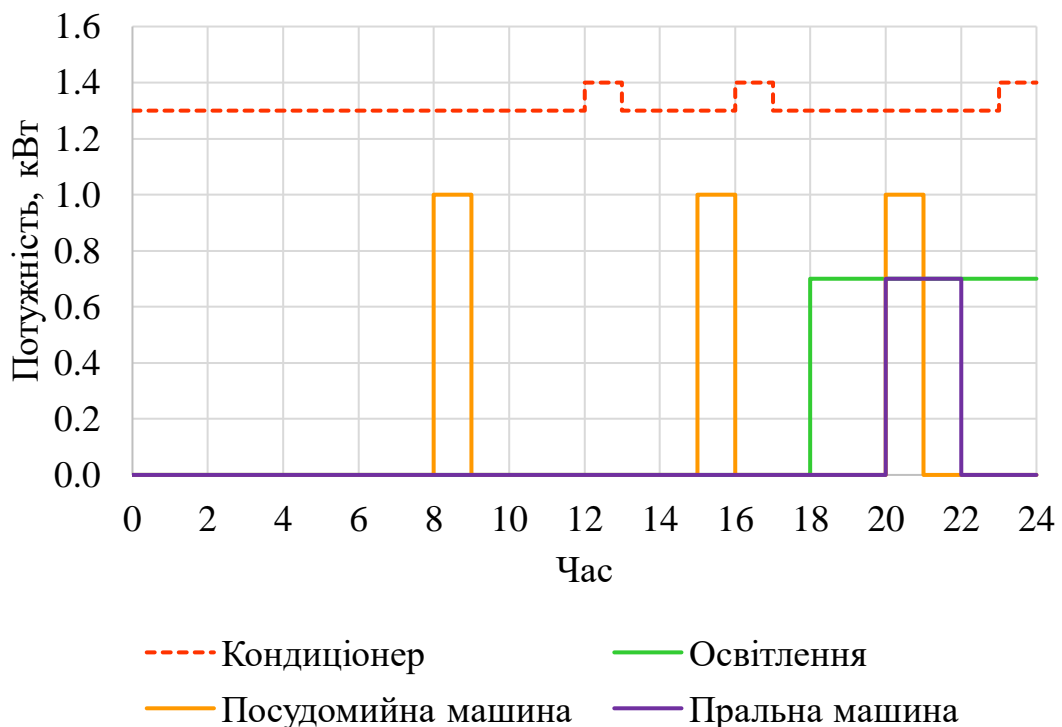


Рисунок 2.4. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з однозонним тарифом на електроенергію для максимального рівня свободи користувача

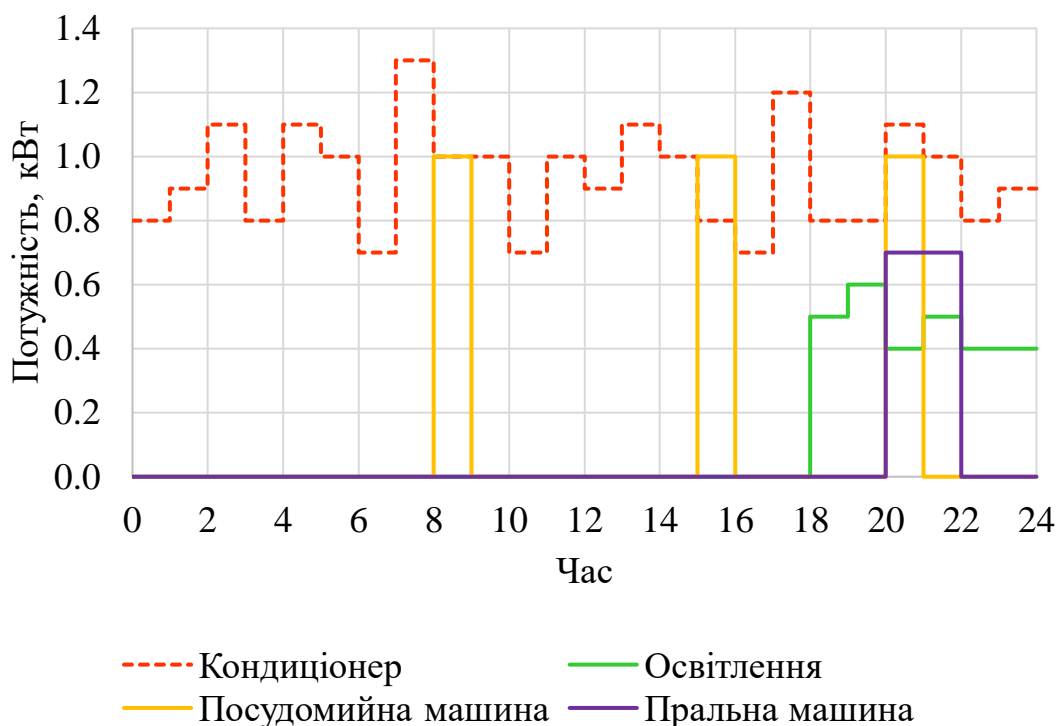


Рисунок 2.5. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з одноступінчастим тарифом на електроенергію для середнього рівня свободи користувача

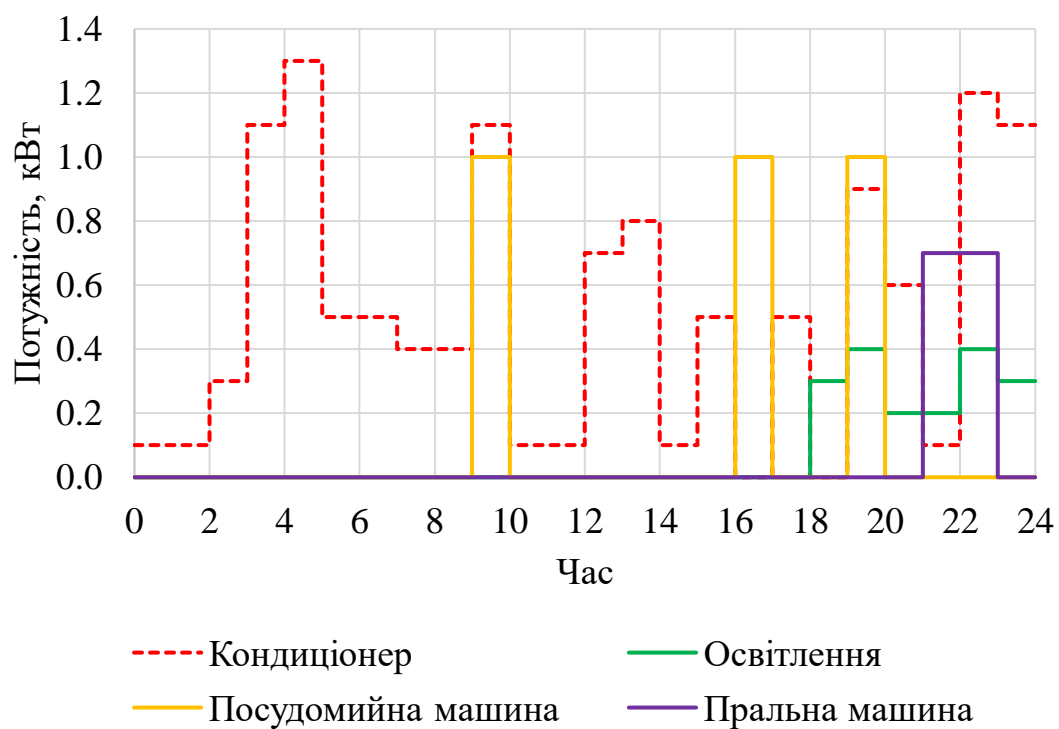


Рисунок 2.6. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з одноступінчастим тарифом на електроенергію для мінімального рівня свободи користувача

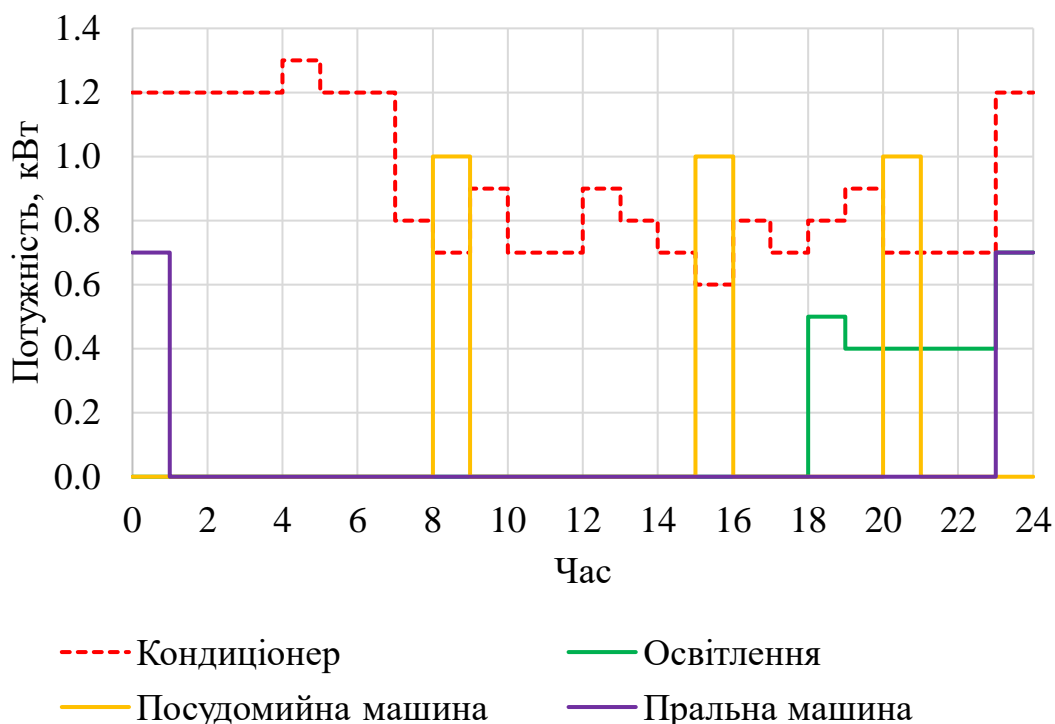


Рисунок 2.7. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з двозонним тарифом на електроенергію для середнього рівня свободи користувача

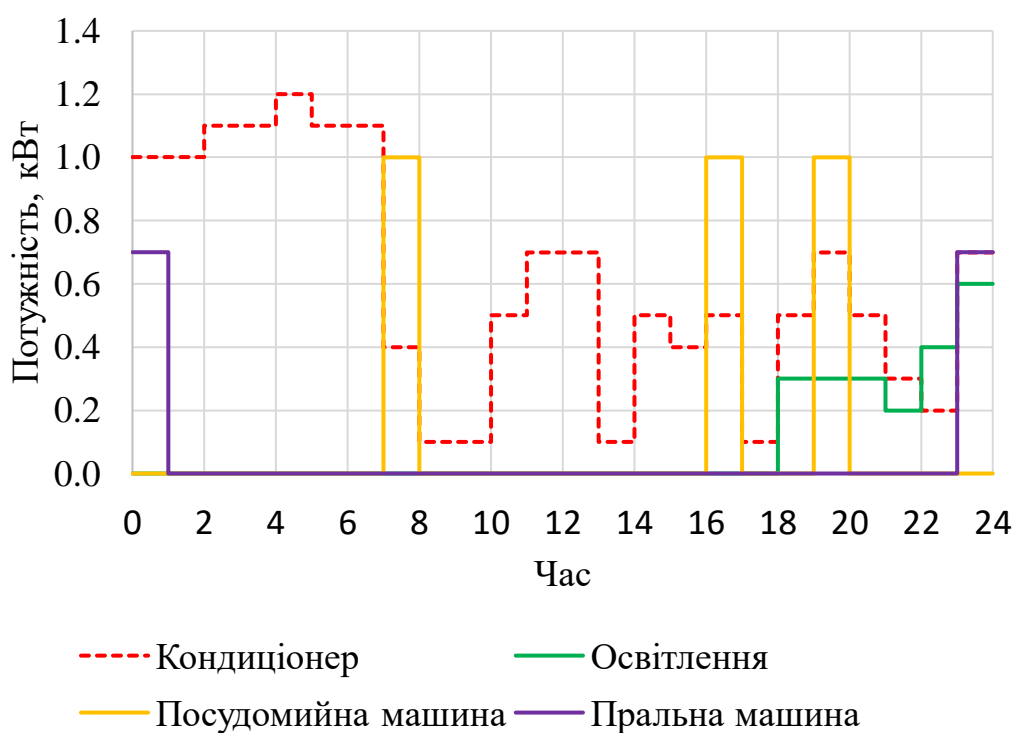


Рисунок 2.8. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з двозонним тарифом на електроенергію для мінімального рівня свободи користувача

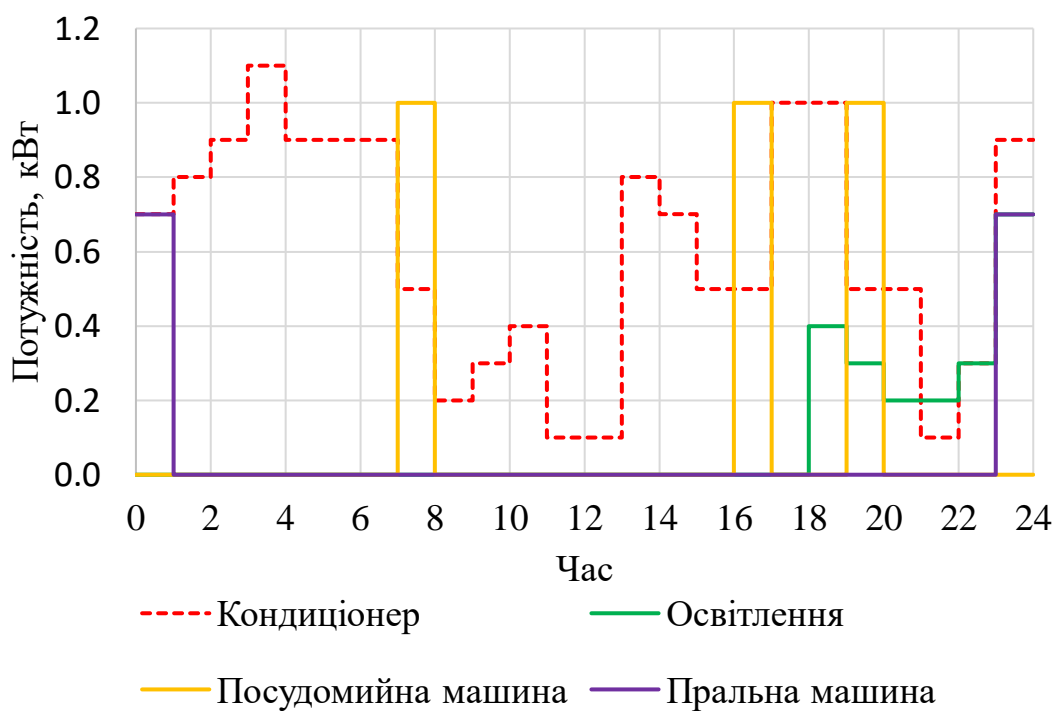


Рисунок 2.9. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з трьохзонним тарифом на електроенергію для мінімального рівня свободи користувача

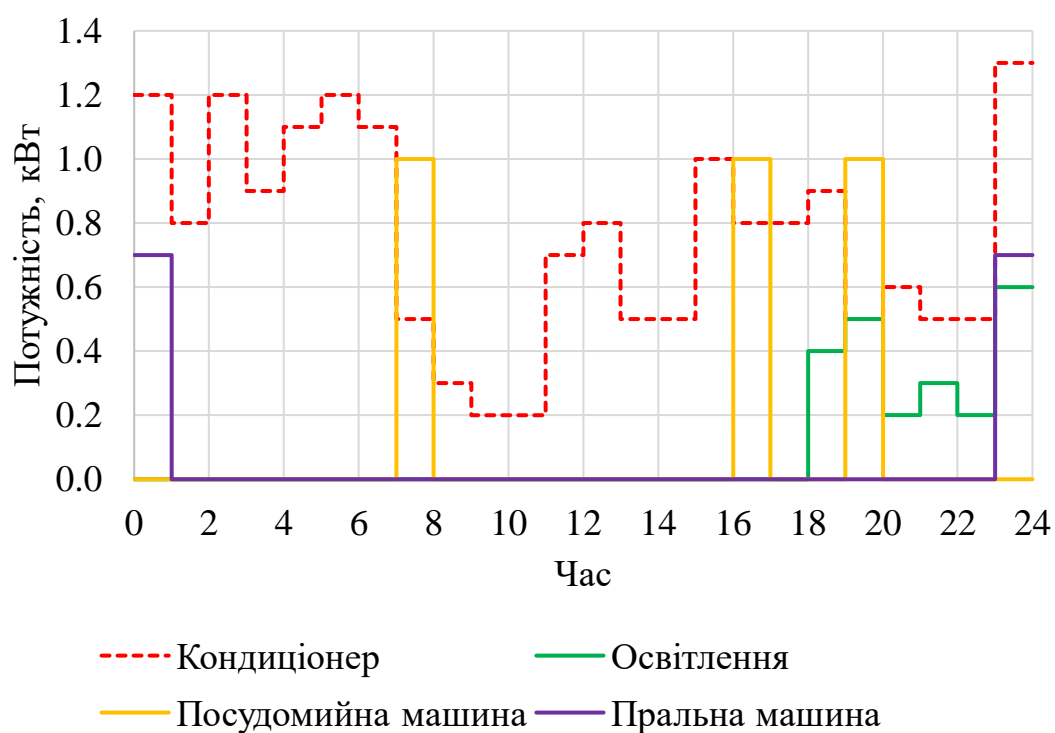


Рисунок 2.10. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з шестизонним тарифом на електроенергію для мінімального рівня свободи користувача

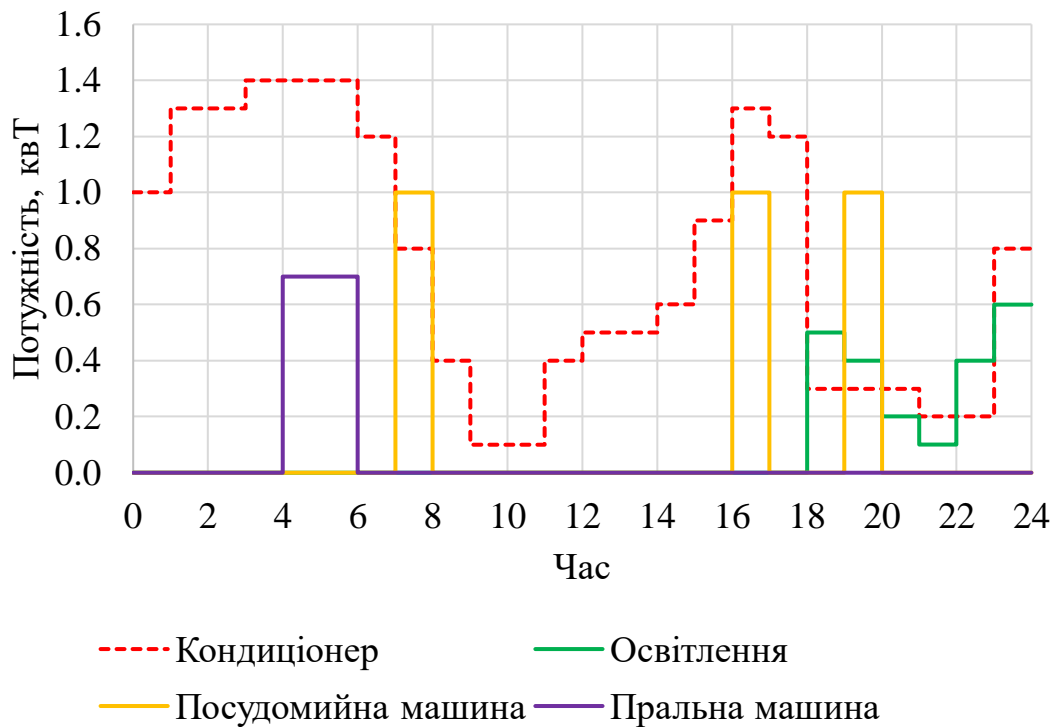


Рисунок 2.11. Планування електронавантаження ГЧ ГП приладів згідно з двадцятичотирьохзонним тарифом на електроенергію для мінімального рівня свободи користувача

Результати показують, що ГП пристрої працюють при низькому енергоспоживанні, де ціни високі, і навпаки, прагнуть працювати при встановленому користувачем бажаному рівні споживаної потужності в час низьких цін. ГЧ пристрої переносять свою роботу на непікові години.

Мінімізація енергоспоживання в години максимального навантаження приводить до мінімальних затрат, але впливає на дискомфорт користувача. Рис. 2.5-9 демонструє, що в години пікового навантаження енергоспоживання ГП приладів зменшується, що призводить до дискомфорту користувача. При порівнянні енергоспоживання пральної машина при середньому рівні свободи користувача на рис. 2.8 з енергоспоживанням при мінімальному рівні свободи на рис. 2.9 бачимо, що початок роботи був перенесений з 23.00 на 4.00, що призводить до збільшення дискомфорту.

Енергоспоживання при мінімальному режимі свободи користувача на рис. 2.9

Рис. 2.12 -13 ілюструють залежність вартості електроспоживання, дискомфорту користувача і цільової функції оптимізаційного алгоритму програмного агента системи при плануванні електроспоживання кондиціонера згідно з шестизонним тарифом на електроенергію. У таблиці 2.3 наведені значення вартості електроспоживання і дискомфорту користувача для ГЧ і ГП приладів згідно з одно-, дво-, трьох-, шести- і двадцятичотирьохзонними тарифами.

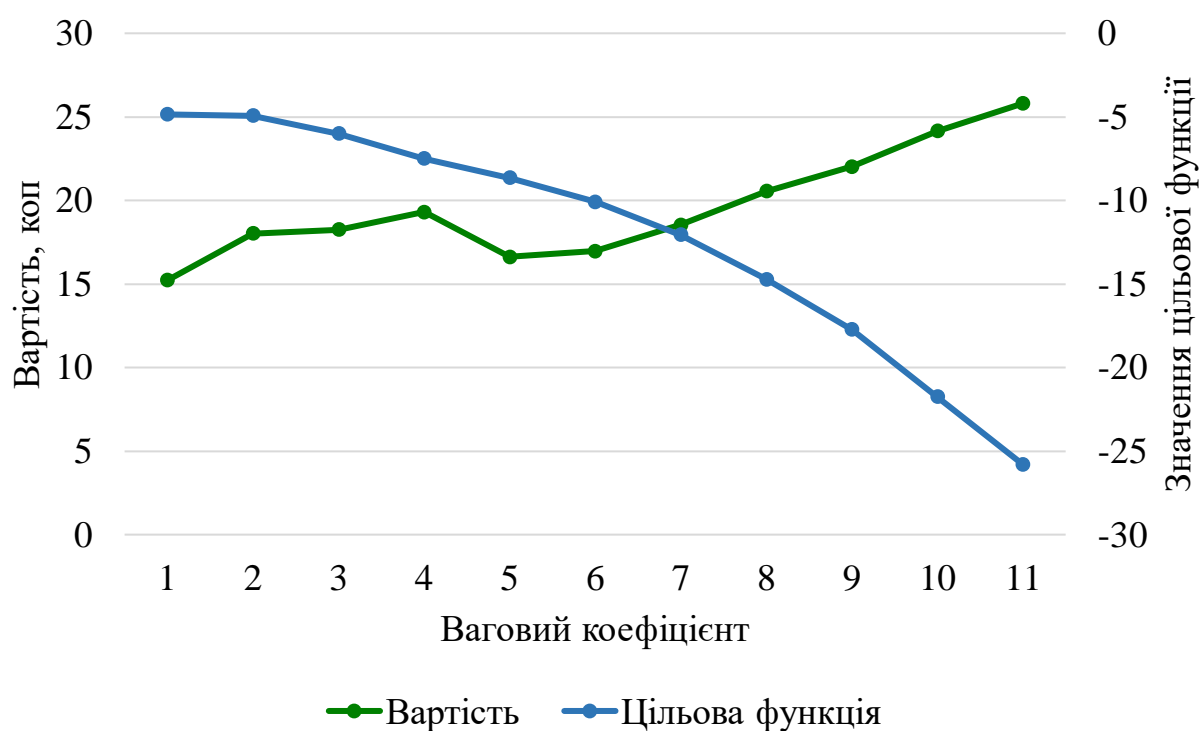


Рисунок 2.12. Залежність вартості і значення цільової функції оптимізаційного алгоритму агента

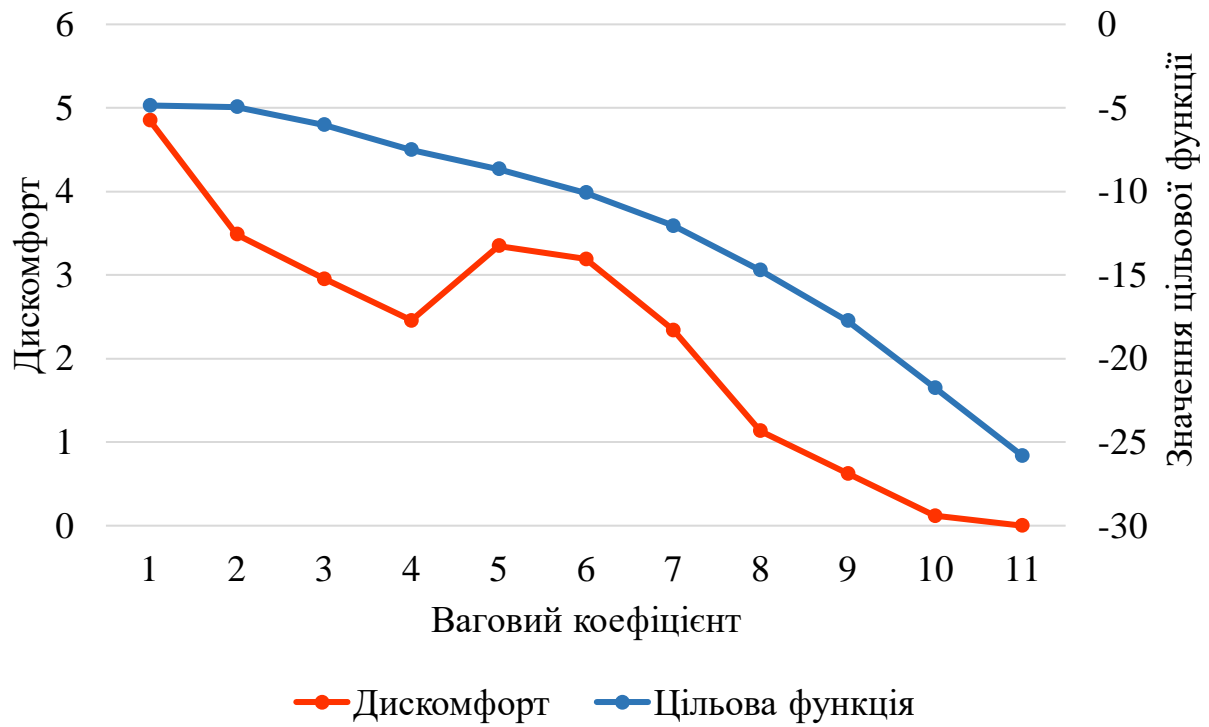


Рисунок 2.13. Залежність дискомфорту користувача і значення цільової функції оптимізаційного алгоритму агента

Таблиця 2.3 Вартість і дискомфорт запланованої агентом роботи приладів за добу

Прилад	Тар. з.	Макс. рівень свободи		Сер. рівень свободи		Мін. рівень свободи	
		Вартість	Дискомф.	Вартість	Дискомф.	Вартість	Дискомф.
1	2	3	4	5	6	7	8
Кондиціонер	1	28	0.13	20	3.45	11	9.16
	2	23	0.11	16	3.19	10	7.67
	3	26	0.13	18	3.08	8	9.86
	6	24	0.12	17	3.19	11	7.11
	24	23	0.13	17	2.62	9	7.71
Освітлення	1	4	0.05	3	0.56	2	1.24
	2	3	0.05	2	0.66	2	1.05
	3	4	0.04	2	0.56	2	1.03
	6	4	0.04	3	0.6	2	1.17

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Ос.	24	4	0.05	3	0.47	2	1.23
Пральна машина	1	1.3	0	1.3	0	1.3	0
	2	1.3	0	0.6	0.009	0.6	0.324
	3	2	0	0.5	0.009	0.5	0.29
	6	2	0	1	0	0.2	0.26
	24	2	0	0.14	0.26	0.14	0.26
Посудом. машина	1	2.7	0	2.7	0	2.7	0.027
	2	2.7	0	2.25	0.009	2.25	0.027
	3	3.6	0	2.7	0.018	2.7	0.026
	6	3.65	0	2.45	0.018	2.45	0.027
	24	3.8	0	2.15	0.027	2.15	0.027
Усього	1	36	0,18	27	4.01	17	10.427
	2	32	0.16	20.85	3.868	14.85	9.071
	3	35.6	0.17	23.2	3.667	13.2	11.206
	6	33.65	0.16	23.45	3.808	15.65	8.567
	24	32.8	0.18	22.29	3.377	13.29	9.227

У таблиці 2.4, 2.5, 2.6 наведено результати оптимізації електроспоживання для шести тарифних зон при максимальному, середньому, мінімальному рівні свободи відповідно.

Щоб оцінити коректність результатів роботи генетичного алгоритму задача була розв'язана методом повного перебору. Значення цільової функції повинні включатися у наступні інтервали, що спостерігаємо у таблицях 2.4-2.6.

- для кондиціонеру – (-36,52; -4,23);
- для освітлення – (-5,45; -0,27);
- для пральної машини – (-1,23; -0,02);
- для посудомийної машини – (-1,95; -0,03).

Таблиця 2.4. Оптимізація електроспоживання для різних тарифних зон при максимальному рівні свободи

	Кіл. т.	Прилад	Ціл. ф.	Час доби																								
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Максимальний рівень свободи	1	Кондиціонер	-25,53	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
		Освітлення	-3,41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Пральна м.	-0,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-0.9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	2	Кондиціонер	-20,79	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4
		Освітлення	-3,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
		Пральна м.	-0,54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-1.14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	3	Кондиціонер	-23,00	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
		Освітлення	-3,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
		Пральна м.	-0,31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-1.23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	6	Кондиціонер	-21,75	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
		Освітлення	-3,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
		Пральна м.	-0,32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-1.23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	24	Кондиціонер	-20,49	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
		Освітлення	-3,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		Пральна м.	-0,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-1.05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0

Таблиця 2.5. Оптимізація електроспоживання для різних тарифних зон при середньому рівні свободи

	Кіл. т.	Прилад	Ціл. ф.	Час доби																							
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Середній рівень свободи	1	Кондиціонер	-11,85	0,8	0,9	1,1	0,8	1,1	1,0	0,7	1,3	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9	1,1	1,0	0,8	0,7	1,2	0,8	0,8	1,1	1,0	0,8	0,9
		Освітлення	-1,54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4
		Пральна м.	-0,63	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	2	Кондиціонер	-9,81	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7	1,2
		Освітлення	-1,39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7
		Пральна м.	-0,32	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
		Посудомийна м.	-1,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	3	Кондиціонер	-10,65	1,1	1,2	1,3	1,0	1,3	1,3	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	0,8	0,7	0,7	0,8	1,3
		Освітлення	-1,56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
		Пральна м.	-0,26	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
		Посудомийна м.	-1,36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	6	Кондиціонер	-10,08	1,2	1,3	1,3	1,3	0,9	1,3	1,3	0,6	0,5	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,2	1,2	1,2	0,9	0,7	0,9	0,7	0,7	1,2
		Освітлення	-1,64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5
		Пральна м.	-0,26	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
		Посудомийна м.	-1,23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	24	Кондиціонер	-9,57	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,8	0,7	0,7	0,5	0,5	0,9	0,8	0,9	1,0	1,3	1,3	1,3	0,8	0,8	0,5	0,5	0,7	1,0
		Освітлення	-1,69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7
		Пральна м.	-0,19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Посудомийна м.	-1,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблиця 2.6. Оптимізація електроспоживання для різних тарифних зон при середньому рівні свободи

	Кіл. т.	Прилад	Ціл. ф.	Час доби																							
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Мінімальний рівень свободи	1	Кондиціонер	-20,23	0,1	0,1	0,3	1,1	1,3	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	0,1	0,1	0,7	0,8	0,1	0,5	0,1	0,5	0,0	0,9	0,6	0,1	1,2	1,1
		Освітлення	-2,85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3
		Пральна м.	-1,26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0
		Посудомийна м.	-2,72	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	Кондиціонер	-17,93	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	0,4	0,1	0,1	0,5	0,7	0,7	0,1	0,5	0,4	0,5	0,1	0,5	0,7	0,5	0,3	0,2	0,7
		Освітлення	-2,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,6
		Пральна м.	-0,69	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
		Посудомийна м.	-2,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	3	Кондиціонер	-17,56	0,7	0,8	0,9	1,1	0,9	0,9	0,9	0,5	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,8	0,7	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,1	0,3	0,9
		Освітлення	-2,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,7
		Пральна м.	-0,51	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
		Посудомийна м.	-2,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	6	Кондиціонер	-17,94	1,2	0,8	1,2	0,9	1,1	1,2	1,1	0,5	0,3	0,2	0,2	0,7	0,8	0,5	0,5	1,0	0,8	0,8	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5	1,3
		Освітлення	-2,93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	0,2	0,3	0,2	0,6
		Пральна м.	-0,52	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
		Посудомийна м.	-2,48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	24	Кондиціонер	-16,72	1,0	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,2	0,8	0,4	0,1	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,3	1,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,8
		Освітлення	-2,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,2	0,1	0,4	0,6
		Пральна м.	-0,40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Посудомийна м.	-2,18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

У якості напрямку подальшого дослідження представляє інтерес введення коефіцієнта довіри до системи задля адаптивного управління і автоматичного підлаштовування системи. Коефіцієнт має візуалізувати ступінь відповідальності, що покладена на систему для прийняття рішення. При низькому рівні система жорстко детермінована користувачем, і навпаки, при високому рівні довіри, користувач сам слідує енергоефективним рішенням, що прийняті системою.

Висновки до розділу 2

У результаті розробки математичної моделі енергоефективного планування електроспоживання, була поставлена задача математичної оптимізації.

Оскільки задача математичної оптимізації є задачею дискретного програмування і беручи до уваги, такі вимоги, що можуть пред'являтися до системи, як обмеженість у часі в прийнятті рішення, можливість масштабування системи, було встановлено, що оптимальним засобом розв'язку є генетичний алгоритм. На цій основі була розроблена програмна модель, представлені результати реалізації якої у розділі показали, що гнучкі за профілем споживаної потужності прилади зменшують енергоспоживання при підвищенні ціни, і навпаки, прагнуть працювати при встановленому користувачем бажаному рівні споживаної потужності в час дії низьких цін. Гнучкі за часом виконання встановлених користувачем завдань електроприлади, прагнуть перенести свою роботу на непікові години.

Методом повного перебору була встановлена коректність результатів роботи генетичного алгоритму.

Пропонована структура є визначеною та заснована на використанні одно-, двох-, трьох-, а також пропонованими автором шести- і двадцятичотирьохзонних тарифах на електроенергію.

Використання тарифів з більшою кількістю зон може дати змогу покращити гнучкість в задоволенні енергопотреб користувача і зменшити фінансові втрати.

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Платформа .NET Framework і мова програмування C#

Платформа .Net має велику бібліотеку класів, яка спрощує розв'язання задач, які зустрічаються найбільш часто при розробці автономних програм і web додатків. Платформа надає можливість використання модулів, що були розроблені раніше. А тому, без великих переробок, старі програми можуть набути нової функціональності

Створення конструкторської документації на програмний код при розробці великих проектів спрощують такі засоби платформи як оператори коментарів спеціального виду і атрибути [16].

Мова C# – об'єктно-орієнтована мова, але підтримує компонентно-орієнтоване програмування [17]. Мова є основною мовою розробки додатків для програмної платформи .NET Framework. Індекс ТЮВЕ, що показує частоту використання мов програмування протягом останніх десяти років поміщає C# у перший десяток загальновизнаних мов програмування [18].

До ключових особливостей мови можна віднести:

- відпадає необхідність у використанні вказівників;
- автоматичне управління пам'яттю через збірку сміття;
- анонімні методи, що дають можливість використовувати вбудовану функцію у вигляді делегату;
- можливість розширення функціональності типу при використанні розширюваних методів;
- підтримка необов'язкових параметрів.

Однією із особливостей мови є також те, що вона не компілюється у двійковий код, який можна запустити на цільовому комп'ютері. Код компілюється в проміжний код, що виконується на віртуальній машині, що називається Microsoft Intermediate Language (MSIL). На виході маємо звичайний .exe файл, але який не буде працювати на комп'ютері без встановленого .Net

Framework. При виконанні програми програмна платформа .Net Framework створює проміжний код у двійковому вигляді, який потім виконується (так звана JIT-компіляція). А тому, двійковий код буде зберігатися тимчасово. Якщо програмі необхідно використати цю частину коду знову, буде використана закешована версія.

Задля недопущення помилок у мові застосовується автоматична ініціалізація змінних. Розміщені у стеку типи будуть ініціалізовані нулями (value types). Об'єкти інших типів будуть розміщені у купі, доступ до цих об'єктів організовано за об'єктними посиланнями, які при ініціалізації отримають значення null. Це буде говорити про те, що об'єкт не має асоційованого об'єкту в купі [19].

Головне у мові C# - використання принципів об'єктно-орієнтованого програмування.

Мова C# - безпечна для типів мова. Екземпляри типів взаємодіють через задані ними протоколи, що забезпечує внутрішню узгодність.

Незважаючи на те, що мова C# застосовується в основному для написання додатків для виконання на ОС Windows, з недавнього часу Microsoft і інші компанії інвестують в розробку під інші платформи, такі як Mac OS, iOS і Android [20]. Інфраструктура Xamarin надає можливість міжплатформової розробки мобільних додатків на мові C#. Переносимі бібліотеки класів є вже усе більш поширеними. Інфраструктура ASP.NET 5 від Microsoft може функціонувати і під управлінням .NET Framework і під управлінням .NET Core. Остання є новим міжплатформовим виконуючим середовищем.

3.2 Інтерфейс програмування додатків Windows Forms

Для створення GUI додатку у платформі .Net Framework використовується технологія Windows Forms, яка буда використана при розробці програмного додатку.

Термін «форма» в технології є синонімом вікна верхнього рівня. Формою є головне вікно програми. Інші вікна верхнього рівня у додатку є також формами, як і діалогове вікно.

У простір імен System.WinForms поміщені класи, що використовують Windows Forms. Це такі класи, як:

- Form, який використовують для управління роботою форм;
- Menu, який використовується для управління роботою меню додатку;
- Clipboard, який дає змогу розробникам використовувати буфер обміну;
- Button, який представляє сутність кнопки;
- TextBox, який представляє сутність текстового вікна та ін.

Головне вікно додатку є класом, наслідуваним від класу System.WinForms. Взагалі кожне вікно або форма є екземпляром класу, похідного від System.WinForms.Form. Головна частина цього класу метод Main, що є точкою входу у додаток.

Одним з важливих компонентів є клас System.WinForms на ім'я Application, який містить статичний метод Run, що запускає і відображає вікно. Відображення форми на екрані є прикладом виконання конструктора форми і передачі управління методу Application.Run. Цей метод створює форму, відображає її на екрані і виконає обробку повідомлень до неї.

Усі керуючі класи у Windows Form генерують події [21].

Виконуваний файл додатку є не звичайним .exe файл, а .Net програмою, що містить наступні елементи:

- Microsoft Intermediate Language (MSIL), згенерований за допомогою C#;
- метадані, які описують типи (класи);
- декларація, яка описує, файли, що необхідні для збірки додатку [22].

3.3 Моделювання розробленого програмного забезпечення

Під час проектування інформаційної системи розробник спускається від загальної концепції до найбільш детальних моделей, які описують фізичну реалізацію системи. На діаграмі варіантів використання зображуються основні користувачі системи та задачі, які вона повинна виконувати. Далі за допомогою діаграми класів проектується логічна структура. На цьому етапі виділяються класи, які сприяють досягненню цілей у рамках того чи іншого прецедента, а також формуються класи, які утворюють БД системи [23]. Розробник встановлює алгоритм дій у рамках відповідного прецедента, який необхідний для досягнення необхідного результату, зміну стану об'єктів під час виконання наведених дій. Дуже часто необхідно зобразити не тільки алгоритм дій і зміну стану об'єкта, а й обмін повідомленнями між об'єктами. Це зображують на діаграмі станів.

3.3.1 Діаграма варіантів використання

Діаграму варіантів використання (англ. use-case diagram) доцільно будувати під час вивчення технічного завдання [24]. Вона складається з

- акторів – груп осіб або інших систем, що взаємодіють із системою,
- прецедентів (варіантів використання) - функціонал, який система надає акторам,
- коментарі,
- відношення між елементами діаграми.

Варіанти використання розроблюваної системи описуються з точки зору користувача, при цьому важливо описувати взаємодію користувача з елементами інтерфейсу системи. Діаграма варіантів використання розроблюваної системи представлена на рис. 3.1.

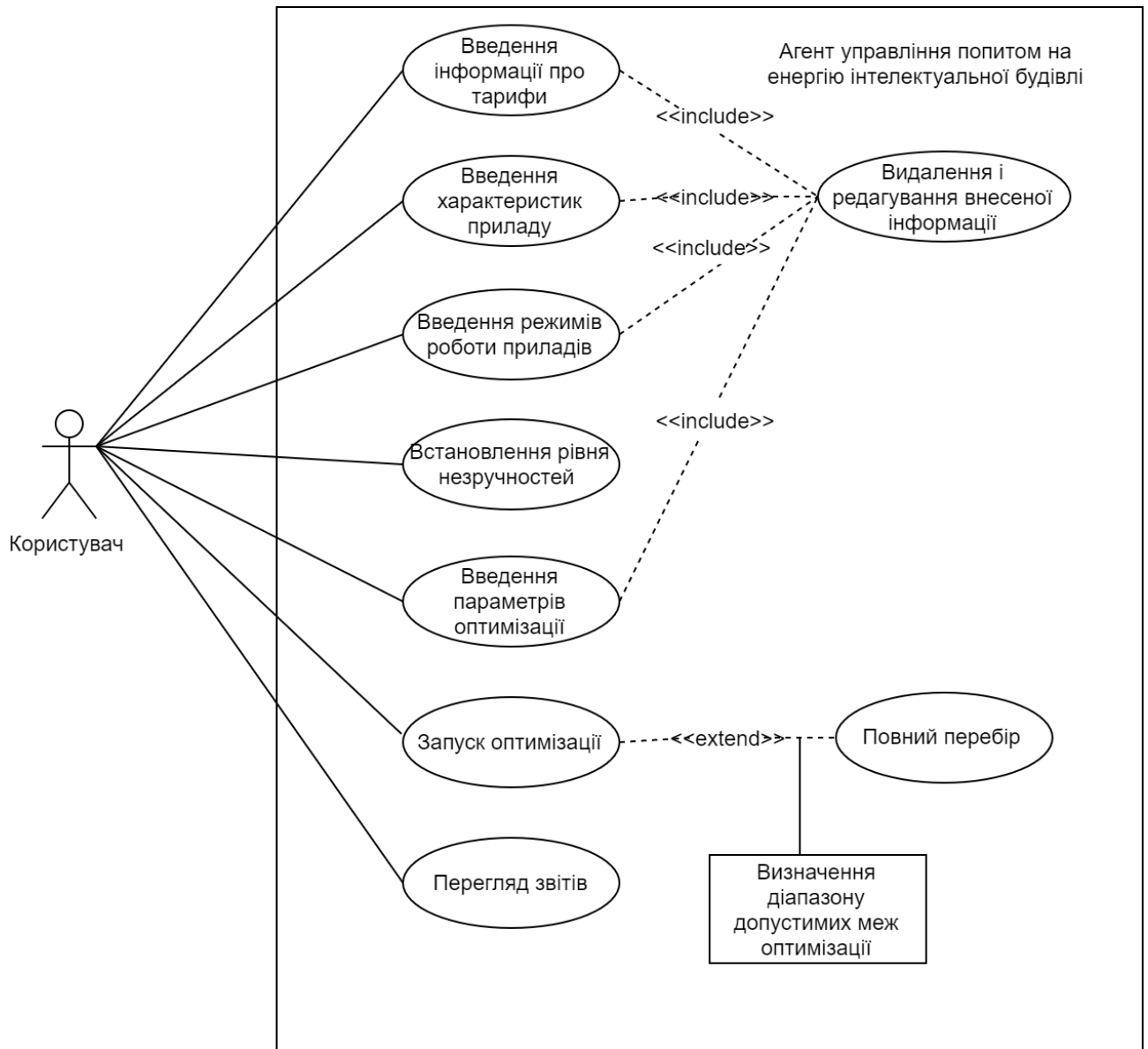


Рисунок 3.1. Діаграма варіантів використання

3.3.2 Діаграма класів

Діаграма класів - діаграма, що призначена для представлення моделі статичної структури програмної системи в термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування [25]. Розробка діаграми класів необхідна для визначення сутностей предметної області і представлення їх класами з відповідними атрибутами та операціями; визначення взаємозв'язку між сутностями і представлення їх типовими відношеннями між класами; розробки логічної моделі системи для подальшої реалізації фізичної моделі. Основні класи

із зазначенням основних полів та операцій розробленої системи представлено на рисунку 3.2.

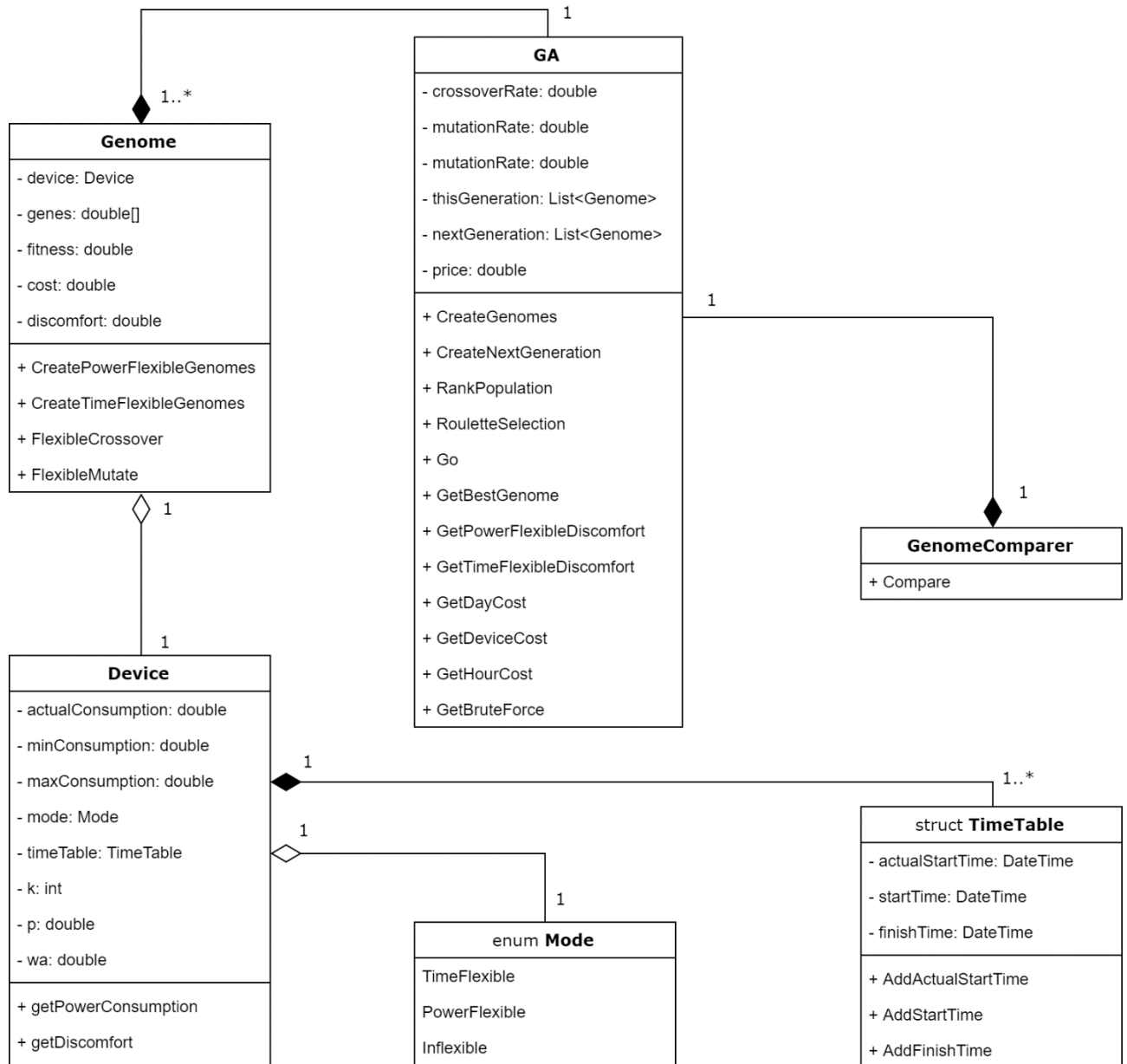


Рисунок 3.2. Діаграма класів

Безпосередньо робота генетичного алгоритму виконується у класі GA, Genome і в допоміжному класі GenomeComparer. Створення початкової і наступних популяцій виконується у класі GA і реалізовано методами CreateGenomes() і CreateNextPopulation() відповідно. Клас GA також містить багато допоміжних функцій. Цільова функція генетичного алгоритму описана за допомогою делегату GAFunction.

Оператор мутації і кросоверу виконаний у класі *Genome*, який представляє собою хромосому, оскільки необхідний доступ до закритих членів цього класу. Клас *Device* представляє сутність приладу, моделювання електроспоживання якого виконується протягом доби.

3.3.3 Схема бази даних

На рисунку 3.3 зображена схема бази даних, що складається з двох таблиць: *Device*, що представляє сутність приладу і *TimeTable*, що представляє режим роботи одного приладу.

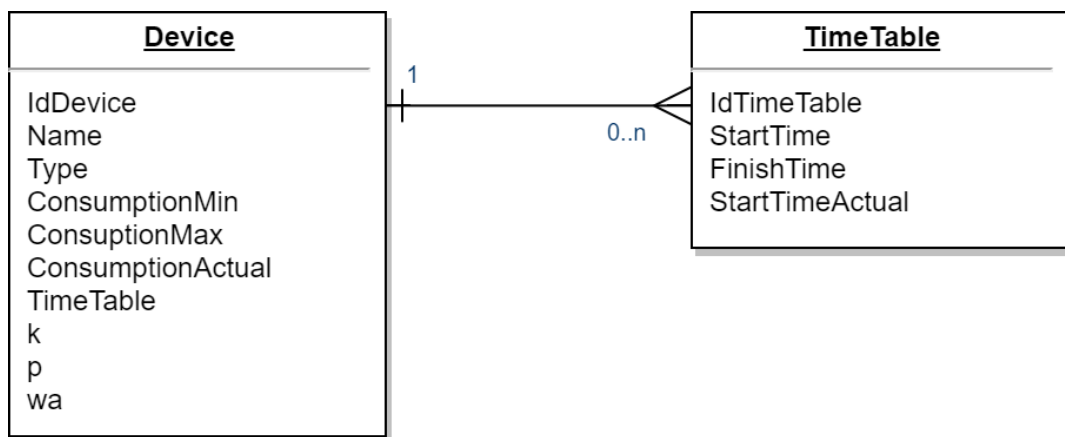


Рисунок 3.3. Схема бази даних

3.3.4 Діаграма послідовності

ООП передбачає інформаційний обмін між елементами системи, тобто відправлення й отримання повідомлень один від одного. Основними поняттями діаграми послідовності є об'єкт і повідомлення [26]. Діаграма моделює взаємодію об'єктів системи у часі, а також обмін повідомленнями між ними. На діаграмі у якості об'єктів виступають екземпляри класів, сутності, що володіють поведінкою у системі. Частиною об'єкта є лінія життя, що показує протягом якого часу у системі існує об'єкт. Часова шкала спрямована зверху вниз.

На рисунку 3.4 представлена діаграма послідовності розробленої системи, на якій зображено процес генерації популяцій (методи *CreateGenomes()* і *CreateNextGeneration()* класу *GA*).

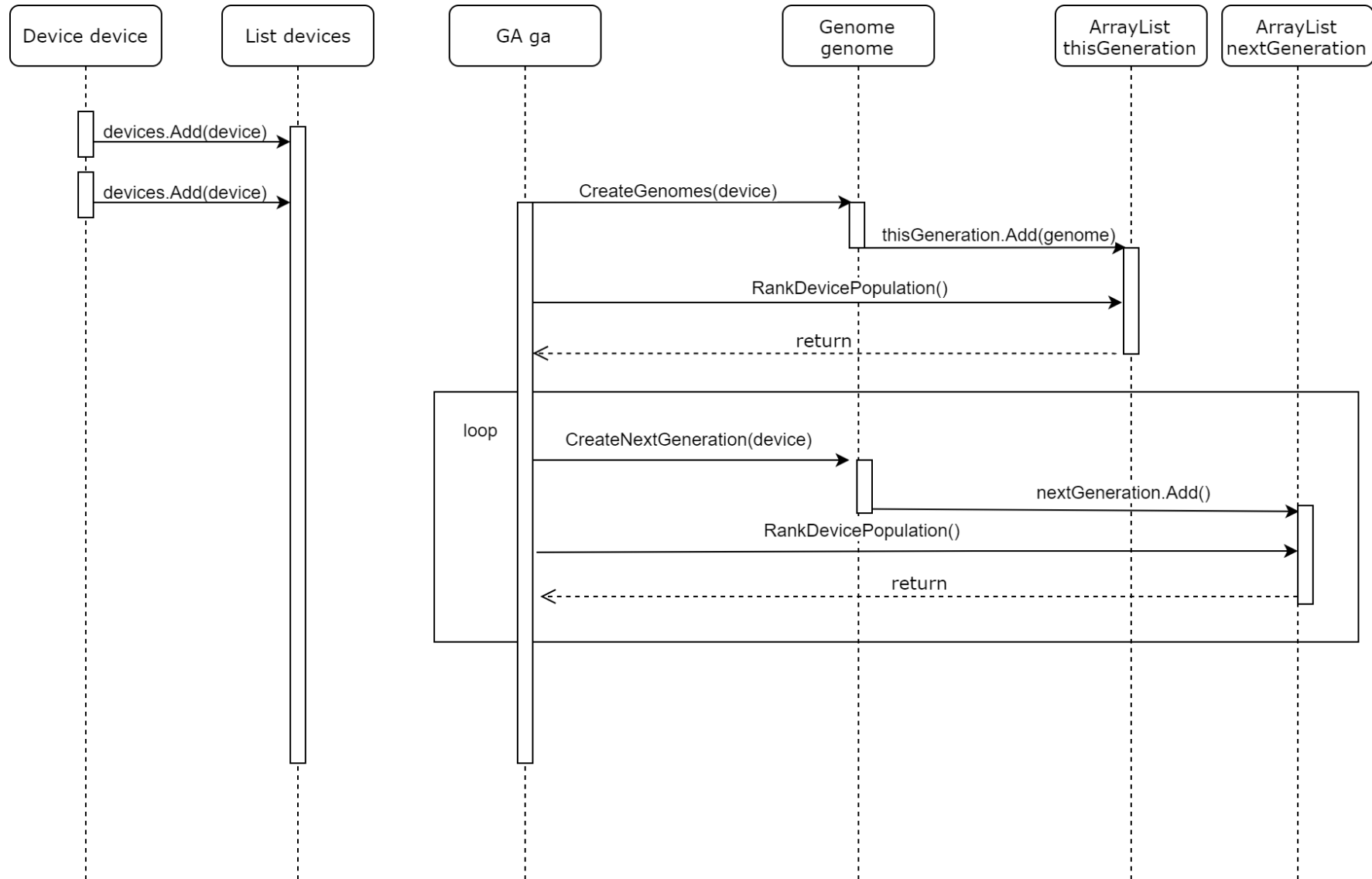


Рисунок 3.4. Діаграма послідовності

3.4 Графічний інтерфейс користувача

Користувацький інтерфейс мінімальний, основний аспект зроблений на функціонал. Після запуску програми з'являється головне вікно (рис. 3.5).

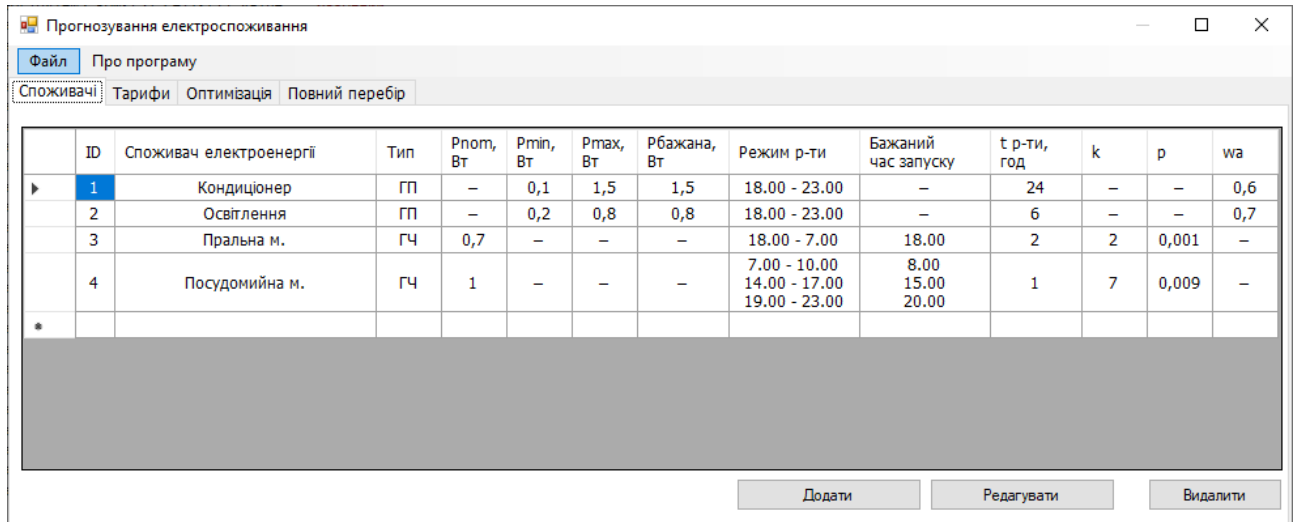


Рисунок 3.5. Головне вікно програми. Вкладка «Споживачі»

Головне вікно складається з меню і панелі з 4 вкладками:

- споживачі,
- тарифи,
- оптимізація,
- повний перебір.

На вкладці «Споживачі» у таблиці споживачів електроенергії користувач переглядає інформацію про електроприлад, а також додає відомості про новий електроприлад, редагує або видаляє інформацію про наявний у системі прилад. При натисненні на кнопку «Додати» або «Редагувати» з'являється допоміжне вікно додавання/редагування інформації про електроспоживчі характеристики і режим роботи приладу (рис. 3.6).

Новий споживач

Споживач:

Тип:

Навантаження:

номінальне: Вт

мін.: Вт макс.: Вт

бажане: Вт

Параметри дискомфорту:

k: p:

wa:

Режим роботи:

Початок: год хв

Закінчення: год хв

	ID	Початок	Закінчення
	1	7.00	10.00
	2	14.00	17.00
▶	3	19.00	23.00
*			

Додати Видалити

Бажаний початок роботи: год хв

Тривалість робочого циклу: год хв

OK Застосувати Відміна

Рисунок 3.6. Вікно введення характеристик і режиму роботи нового приладу

Після введення інформації про електроприлад, необхідно вказати відомості про тариф на електроенергію, для чого необхідно перейти на вкладку «Тарифи». Рис. 3.7 ілюструє вкладку «Тарифи» із внесеними відомостями про одно-, двох-, трьох-, шести-, двадцятичотирьохзонні тарифи.

Прогнозування електроспоживання

Файл Про програму

Споживачі **Тарифи** Оптимізація Повний перебір

№	Назва	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1-зонний	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2	2-зонний	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,45
3	3-зонний	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,9	1,35	1,35	1,35	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,35	1,35	0,9	0,36	0,36
6	6-зонний	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,36	0,9	1,5	1,5	1,35	0,9	0,9	0,9	0,9	0,65	0,65	0,65	0,9	0,9	1,5	1,35	0,9	0,36
24	24-зон...	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	1,55	1,55	1,35	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,65	0,8	0,95	1,55	1,55	0,8	0,36

Додати Редагувати Видалити

Рисунок 3.7. Головне вікно програми. Вкладка «Тарифи»

Опісля переходимо на вкладку «Оптимізація» і у групі елементів керування «Параметри оптимізації» виконуємо налаштування рівня незручностей для усіх приладів електроспоживання та обираємо введений раніше тариф, після чого натискаємо на кнопку «Запуск». Результат виконання оптимізації електроспоживання для трьохзонного тарифу за мініального рівня незручностей є таблиця, що представлена на рисунку 3.8. У групі «Параметри прогнозування» буде наведена загальна вартість і дискомфорт за добу, пікова потужність. У групі «Звіт» можна згенерувати звіти у вигляді файлу з розширенням .csv .txt .xlsx.

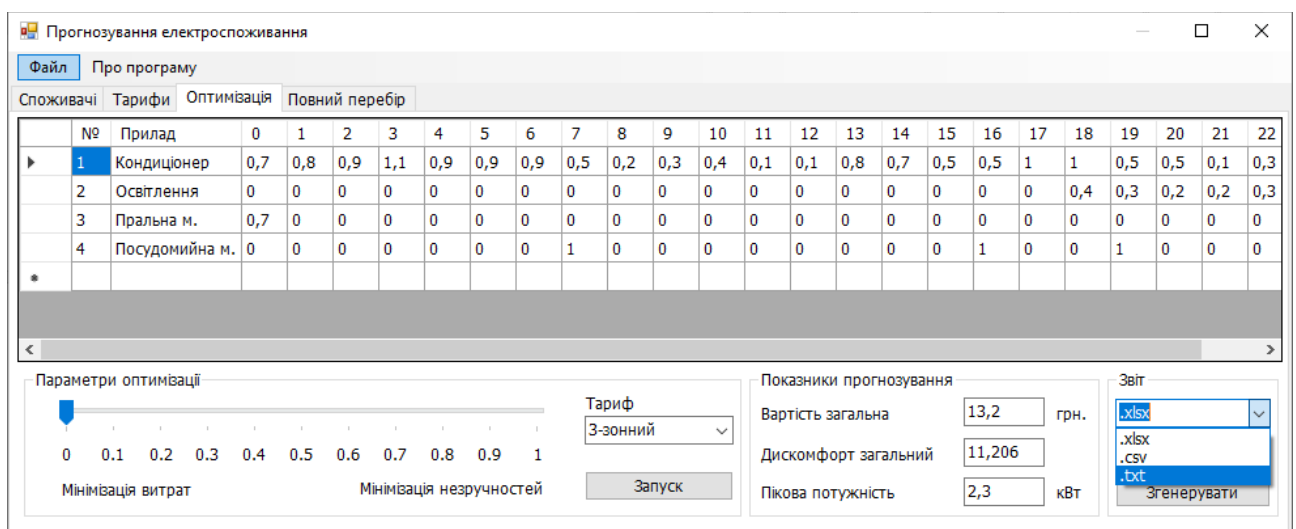


Рисунок 3.8. Головне вікно програми. Вкладка «Оптимізація»

На вкладці «Повний перебір» наведена інформація про діапазон можливих значень параметрів оптимізації для кожного приладу.

Висновки до розділу 3

Для розробки додатку обрана програмна платформа .NET Framework, яка є найбільш інтегрованою для створення додатків на базі сімейства операційних систем Windows. Додаток був запрограмований на мові C# з використанням інтерфейсу програмування застосунків Windows Forms і РСУБД Microsoft SQL Server.

До переваг використовуваної програмної платформи .Net Framework можна віднести:

- об'єктно-орієнтований підхід;
- велику кількість бібліотек та їх документованість, зокрема з інструментами штучного інтелекту;
- сувору типизацію, що збільшує безпечність виконання програми;
- багаті можливості розробки графічного інтерфейсу користувача.

Етап моделювання ПЗ дозволив одразу перейти від постановки задачі до розуміння програмної реалізації системи на нижчих рівнях.

Діаграма варіантів використання наочно зображує основних користувачів системи та задачі, які вона повинна виконувати. Далі за допомогою діаграми класів була спроектована логічна структура програми. В аспекті дослідження і реалізації генетичного алгоритму корисно зобразити обмін повідомленнями між сутностями програмної моделі, що наочно проілюстровано на діаграмі послідовності.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

4.1.1 Зміст ідеї, напрямки застосування, вигоди користувачів

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Агент, який базуючись на вивченні культури енерговикористання і енергетичній концепції управління попитом, управляє попитом на електричну енергію.	Споживачі електричної енергії	Підвищується енергоефективність, раціоналізується режим електричного споживання, знижується вартість енергопостачання шляхом усунення надмірного попиту на енергію, підвищення комфорту енерговикористання
	Генеруючі і мережеві підприємства електричної енергії	Усувається загроза втрати доходів через нарощування власної генерації. Внаслідок зниження невизначеності попиту підвищується якість планування розвитку енергопотужностей
	Постачальники енергоефективного обладнання і послуг по енергозбереженню	Сприяння розвитку відповідних ринків

4.1.2 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економіч. характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів		Слабка	Нейтральна	Сильна
		Мій проект	Schneider Electric			
1	2	3	4	5	6	7
1	Признач.	Інтелектуальне встановлення оптимального режиму роботи електрообладнання враховуючи заохочувальні та штрафні заходи енергоринку, поведінку енерговикористання споживача, мінімізації енергоімпорту, максимізацію використання відн. джерел енергії	Інтелектуал. встановл. оптимального режиму роботи електрообладнання враховуючи заохочувальні та штрафні заходи енергоринку		Деталізований моніторинг	Деталіз. звіт-прогноз для прийняття рішення про оптимальне енерговикористання за різними критеріями: макс.викор. віднов. джерел енергії, макс. економ. вигоди, мін. імпорту енергії, пікове зниження, система оплати
2	Економ. ефектив.	У «жорстком.» режимі досягається найвища економ. ефективність	Низька економ. ефективність			Висока економ. ефектив.
3	Надійніст.	Безвідмовна робота	Аналогічно			

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
4	Ергоном.	Зручне налаштування режиму роботи системи	Інтерфейс доступний тільки на англ.м.			Локалізація інтерфейсу, дружелюбний інтерфейс
5	Безпека	Реєстрація і авторизація користувача, шифрування потоків даних між компонент. системи				Високий рівень захисту даних користувачів системи

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	2	3	4	5
1	Організація торгів	Оренда серверу, розробка веб-служби тарифів і торгів на енергоресурси	є	є
2	Організація впровадження і ліцензування агенту у систему «управління на стороні попиту»	Узгодження з керуючими енергокомпаніями, консультації спеціаліста з питань енергетики	є	є
3	Розробка алгоритмів інтелектуального управління на стороні попиту	Динамічні алгоритми, алгоритми лінійного програмування, машинне навчання	є	є
4	Інтерфейс для користувачів	Розробка веб-сайту сервісу, додатку для ОС Windows	є	є

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5
5	Оплата послуг енергоспоживання	Узгодження з керуючими енергокомпаніями, розробка модулю оплати у платіжній системі	є	є
6	Захист інформації	Розробити системи захисту від злому облікових записів, систему шифрування потоків даних між компонентами системи	є	є

Висновок: Проект можливо реалізувати з технічної точки зору.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

4.3.1 Аналіз попиту

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж	\$40 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	-
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно забезпечити ліцензування агенту і системи оплати
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	7

Висновок: ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

4.3.2 Потенційні групи клієнтів

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зменшення вартості енергопостачання шляхом усунення надмірного попиту на енергію, раціоналізація режиму електроспоживання	Споживачі електричної енергії	Можливість відчутно зменшити вартість енергоспоживання, полегшити участь в управлінні енерговикористання	Економічна ефективність, надійність, безпека даних про енерговикористання
2	Ліквідація втрат доходів через нарощування власної генерації	Генеруючі і мережеві підприємства електричної енергії	Потребують широких можливостей планування розвитку енергопотужностей	Економічна ефективність
3	Технології енергозбереження і енергоефективності	Постачальники енергоефективного обладнання і послуг по енергозбереженню	Звіт про окупність системи для різних груп користувачів	Малий період окупності, широка аудиторія потенційних користувачів

4.3.3 Аналіз ринкового середовища

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ліцензування системи	Складність при отриманні ліцензії на використання системи	Домовлятися з керуючими компаніями в індивідуальному порядку
2	Фінансування	Проблема де взяти гроші, особливо на початковій стадії запуску проекту	Пошук інвесторів, можливість надання гранту від керуючих енергокомпаній
3	Розповсюдженість системи	Недостатньо велика кількість користувачів	Реклама для збільшення аудиторії користувачів
4	Оплата послуг енергоспоживання	Можливі додаткові складнощі при укладанні контрактів	Домовлятися з керуючими компаніями і операторами платіжних систем в індивідуальному порядку
5	Безпека користувачів	Шахраї можуть отримати доступ до облікових записів користувачів, їх персональних даних та даних про енерговикористання	Розробити надійну систему захисту
6	Надійність	Система повинна забезпечувати безвідмовну роботу, проблема пікового навантаження	Орендувати сервер на умовах «платиш тільки за те, що використовуєш і коли використовуєш»
7	Запуск і супровід	Можливі непередбачені проблеми	Найняти команду для обслуговування системи

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Прибуток	Отримання прибутку	Заходи для збільшення рентабельності
2	Новий ринок	Фактично відсутність конкурентів	Реклама технології
3	Розвиток концепції «управління на стороні попиту»	Заохочувальні заходи для споживачів з боку керуючих енергокомпаній, зацікавленість енергокомпаній у інструменті що пропонуватиме користувачам комфортне використання концепції	Забезпечити користувачів необхідним функціоналом
4	Зручність і комфорт використання і управління системи енергоспоживачами	. Агент задає режим роботи для споживачів енергії, який коливається між двома крайніми положеннями: «жорсткий» режим – мінімум повноважень агенту і повна свобода користувача; «гнучкий» режим - максимум повноважень агенту	Забезпечити користувачів необхідним функціоналом

4.3.4 Аналіз пропозиції

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Вказати тип конкуренції чиста	Існує 2 системи із спорідненим призначенням	Розширення функціоналу, поглиблення існуючих можливостей системи

Продовження таблиці 4.8

1	2	3
2. За рівнем конкурентної боротьби - глобальний	Системи доступні в більшості енергетично розвинених країнах світу	Забезпечити доступність в усіх країнах, де це можливо. Локалізувати інтерфейс на якомога більшу кількість мов та надати користувачам можливість вибору мов.
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Можлива конкуренція між системи «розумна будівля»	Необхідно зробити функціонал кращим та зручнішим ніж в конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Можлива конкуренція між системи «розумна будівля»	Необхідно зробити послуги кращими та зручнішими ніж в конкурентів
5. За характером конкурентних переваг - цінова та нецінова	Цінова – зробити вартість системи дешевшою ніж в конкурентів Нецінова – полягає в якості та доступності послуг	Цінова – зробити систему дешевшою ніж в конкурентів за рахунок уніфікації Нецінова – висока зручність управління
6. За інтенсивністю - не марочна	Конкуренція за надання послуг енергоспоживання	Розкрутка та набір популярності власної системи

4.3.5 Детальний аналіз умов конкуренції в галузі

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	Системи «розумна будівля», агент DSM Schneider Electric	Бар'єри входження в ринок: • Гнучкі ціни • Розмір капіталовкладень • Зв'язок з керуючими компаніями	Фактори сили постачальників: • Змінні витрати постачальників	Фактори сили: • Змінні витрати • Високий рівень чутливості до зміни цін • Контроль якості	Фактори загроз: • Ціна • Лояльність споживачів
Висновки	Середня інтенсивність конкурентної боротьби	Є можливості входу в ринок Є потенційні конкуренти Строки виходу їх на ринок 0.5-1 рік	Керуючі компанії накладають обмеження на функціонал системи	Для клієнтів найбільш важлива цінова економічність, ефективність, захист персональних даних, комфорт використання	Обмеження для роботи на ринку через товари замітники: обмеження економічності рентабельності

Висновок: За умови домовленості з керуючими енергокомпаніями, проект буде конкурентоспроможним.

4.3.6 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Економічна ефективність	Базуючись на заохочувальних заходах керуючих компаній система раціоналізуючи режим енерговикористання зменшує витрати користувача. З точки зору генеруючі і мережевих підприємства електричної енергії, усувається загроза втрати доходів через нарощування власної генерації. Внаслідок зниження невизначеності попиту підвищується якість планування розвитку енергопотужностей
2	Гнучка система управління енерговикористання	Агент задає режим роботи для споживачів енергії, який коливається між двома крайніми положеннями: «жорсткий» режим – мінімум повноважень агенту і повна свобода користувача; «гнучкий» режим - максимум повноважень агенту
3	Зручний інтерфейс управління системою	Система позбавляє користувача від великої кількості рутинних розрахунків задля досягнення зменшення витрат, деталізовані звіти-прогнози дозволяють оцінити втрати і надходження і швидко прийняти оптимальне рішення про режим енергокористування

4.3.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг у порівнянні з конкурентами
1	Економічна ефективність	+5
2	Гнучка система управління енерговикористання	+3
3	Зручний інтерфейс управління системою	+3

Загальний рейтинг: +11

4.3.8 Аналіз стартап-проекту за типом SWOT

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Економічна ефективність</p> <p>Малий період окупності</p> <p>Гнучка система управління енерговикористанням</p> <p>Зручний інтерфейс управління системою</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Фінансування</p> <p>Популярність сервісу</p>
<p>Можливості:</p> <p>Потенційна прибутковість</p> <p>Ринок, який тільки зароджується</p> <p>Зацікавленість у продукті керуючими енергокомпаніями</p>	<p>Загрози:</p> <p>Ліцензування системи</p> <p>Оплата послуг енергоспоживання</p> <p>Безпека користувачів</p> <p>Надійність, безвідмовність</p> <p>Запуск, супровід</p>

4.3.9 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пришвидшення процесу розробки, підвищення надійності, безвідмовності, безпеки	Потребує значного зростання фінансових витрат, отримання значного фінансування на початковому етапі малої ймовірне	6-7 місяців
2	Розробка проекту власними силами на початковому етапі	Немає потреби в значному фінансуванні	12-15 місяців

Висновок: було обрано варіант № 2, де отримання ресурсів є більш простим та ймовірним.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

4.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Споживачі електричної енергії – мешкан. квартир із централізованим опаленням	середня	середній	низька	легко
	Споживачі електричної енергії – власники домогосподарств (мешканці приватних будинків)	середня	середній	низька	легко
2	Споживачі електричної енергії – власники домогосподарств (мешканці приватних будинків) з електрогенераторами і віднов. джерел енергії	висока	високий	низька	легко

Було обрано цільові групи: мешканці квартир із централізованим опаленням, власники домогосподарств (мешканці приватних будинків), власники домогосподарств (мешканці приватних будинків) з електрогенераторами і віднов. джерел енергії.

4.4.2 Базова стратегія розвитку

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Стратегія зростання	масовий маркетинг	Нижча вартість за рахунок реклами	Стратегія лідерства по витратах
2	Стратегія стабілізації	стратегія диференційованого маркетингу	Користувачам надається більше можливостей для керування	Стратегія диференціації

В якості базової стратегії було обрано **стратегію диференціації**.

4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	так	так	Так. Такі як ціна послуг	Стратегія лідера

4.4.4 Стратегія позиціонування

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Цінова доступність	Наступальна стратегія	Низька ціна за рахунок вбудованої реклами	Економія, комфорт і безпека
2	Малий період окупності	Наступальна стратегія	Економічна ефективність	
3	Безпека даних	Наступальна стратегія	Висока захищеність персональних даних, шифрування потоків даних	

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

4.5.1 Маркетингова концепція товару, який отримає споживач

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Зменшення витрат за енерговикористання	Грошові заощадження при раціоналізації режиму енерговикористання	-Грошові заощадження -Простота використання -Гнучкість використання -Мала участь в управлінні користувача системи -Раціоналізація режиму енерговикористання
2	Зручність управління системою і прийняття рішень	Комфорт використання системи, деталізований звіт (звіт-прогноз) енерговитрат	
3	Покращення комфорту енерговикористання в цілому	Раціоналізація режиму енерговикористання при малій участі користувача	

4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Товар – програмно-апаратна система, яка раціоналізуючи режим енерговикористання базуючись на заохочувальних заходах керуючих енергокомпаній надає можливість зменшити витрати, при цьому зменшивши участь користувача в використанні системи до мінімуму
2. Товар у реальному виконанні	Властивості: <ol style="list-style-type: none"> 1. вимоги до операційної системи і технічних засобів обробки з боку програмного засобу 2. обсяг файлів програм, Гб 3. обсяг дискової пам'яті, Гб 4. швидкість передачі даних, Мбіт/с. 5. розмір оперативної пам'яті для запуску програм 6. опис
3. Товар із підкріпленням	Графічний інтерфейс користувача з локалізацією, захист від копіювання
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захищене програмне забезпечення	Захист програмного коду

4.5.3 Цінові межі

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники (перегляд в кінотеатрах, в прокаті)	Рівень цін на товари-аналоги (перегляд в онлайн кінотеатрах)	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10 000-25 000 грн	8 000-10 000 грн	всі	8 000-25 000 грн

4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Індивідуальне споживання товарів та послуг	Збут здійснюється власними силами	Однорівневий канал	«Виробник – керуюча енергокомпанія користувач»

4.5.5 Концепція маркетингових комунікацій

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Керуючі компанії	Прямі зустрічі	Переговори	Домовитись про використання системи	Переконати в збільшенні частки ресурсів, якими зможе оперувати компанія
2	Глядач потребує можливість переглядати відео контент за прийнятну для нього ціну	Інтернет (ресурси оплати електроспоживання, веб-сайти керуючих енергокомпаній)	Реклама	Зацікавити споживачів	Переконати в мінімізації витрат при мінімальній участі в використанні системи

Висновки до розділу 4

Було проведено аналіз ідеї та зроблено висновки:

- проект має можливість ринкової комерціалізації проекту;
- проект має перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність;
- в якості альтернативи впровадження було вирішено розробляти проект власними силами на початковому етапі;
- подальша імплементація проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих систем управління попитом на енергію зі сторони споживача виявив відсутність ефективних засобів моніторингу і управління попитом на енергію, що дало можливість сформулювати вихідні умови для створення програмної системи з забезпеченням повної автоматизації процесу.

В процесі дослідження виявлено високу ефективність, гнучкість і зручність у налаштуванні генетичного алгоритму для управління сценаріями поведінки елементів інфраструктури.

Розроблена модель формування сценаріїв поведінки дозволяє ефективно управляти інфраструктурою за критерієм мінімальних витрат на енергію з врахуванням ступеня довіри користувача до рішень, прийнятих системою.

Застосування агентного підходу до розробки програмної частини дозволило розробити агент моніторингу і управління попитом, який вирішує задачі шляхом взаємодії з агентом енергоринку (який управляє вартістю на енергоресурси), враховує та узгоджує запити користувача, що дозволяє реалізувати режим повної автоматизації процесів у реальному часі без втручання людини.

Основні напрямки вдосконалення системи і подальших досліджень:

- введення коефіцієнта довіри до системи задля адаптивного управління і автоматичного підлаштування системи. Коефіцієнт має візуалізувати ступінь відповідальності, що покладена на систему для прийняття рішення. При низькому рівні система жорстко детермінована користувачем, і навпаки, при високому рівні довіри, користувач сам слідує енергоефективним рішенням, що прийняті системою.
- виконання енергоаудиту з метою надання висновку про встановлення оптимальної кількості тарифних зон щодо оптимізації енергоспоживання;

- подальша масштабованість системи, тобто надання можливості обслуговувати декілька домогосподарств, промисловий цех, багатоквартирний будинок;
- подальші дослідження з використанням інших методів штучного інтелекту.

Коло можливих користувачів агенту – підприємства енергетичної галузі, наукові і освітні установи енергетичних напрямів, постачальники енергоефективного обладнання, технологій, послуг з енергозбереження, домогосподарства та інші побутові споживачі електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Телегина Е. А. Смена парадигмы мирового энергоснабжения: эволюция бизнес-моделей европейских энергетических компаний / Е. А. Телегина, С. В. Еремин, Д. О. Тыртышова. // Известия СПбГЭУ. – 2018. – №3. – С. 36.
2. Етапи змін тарифів на електроенергію для побутових споживачів [Електронний ресурс] // Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=19527>.
3. National Assessment & Action Plan on Demand Response [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dr-potential.asp>.
4. Гительман Л. Д. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников. // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2013. – №1. – С. 85.
5. Time Based Rate Programs [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.smartgrid.gov/recovery_act/time_based_rate_programs.html.
6. Глоссарий терминов, используемых в регулировании коммунальных и инфраструктурных услуг [Електронний ресурс] // Институт проблем ценообразования и регулирования естественных монополий. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://ipcrem.hse.ru/glossary#RealTimePricing>.
7. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards / [V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak та ін.]. // IEEE. – 2011.
8. Grid Modernization and the Smart Grid [Електронний ресурс] // U.S.

- Department of Energy – Режим доступу до ресурсу: <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid>.
9. Residential power scheduling for demand response in smart grid / K.Ma, J. Yang, T. Yao, X. Guan. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2016.
 10. Taguchi's quality engineering handbook / [G. Taguchi, S. Chowdhury, Y. Wu та ін.], 2005. – 1736 с.
 11. Triantaphyllou E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study / Triantaphyllou Evangelos, 2002. – 289 с.
 12. An Intelligent Hybrid Heuristic Scheme for Smart Metering based Demand Side Management in Smart Homes / M.Awais, J. Nadeem, U. Ibrar, A. Wadood. // Energies. – 2017. – №10.
 13. Климко Е. Г. Генетический алгоритм как разновидность эволюционного алгоритма / Елена Генриховна Климко. // Радиоэлектроника и информатика. – 2002.
 14. Тарифи на електроенергію, що відпускається населенню [Електронний ресурс] // Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=15013>.
 15. Порядок застосування тарифів на електроенергію [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0599-12>.
 16. Рихтер Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C# / Дж. Рихтер. – Санкт-Петербург: Питер, 2013. – 896 с. – (Мастер-класс).
 17. Краткий обзор языка C# [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>
 18. TIOBE Index for C# [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/csharp/>

19. Шилдт Г. С#: полное руководство / Г. Шилдт. – Москва: Вильямс, 2011. – 1056с.
20. Албахари Д. С# 6.0 Справочник. Полное описание языка / Д. Албахари, Б. Албахари. – Москва: Вильямс, 2016. – 1040 с. – (6-е издание).
21. Рихтер Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C# / Дж. Рихтер. – Санкт-Петербург: Питер, 2013. – 896 с. – (Мастер-класс).
22. Программирование с использованием Microsoft Windows Forms – Москва: Питер, 2006. – 432 с. – (Мастер-класс).
23. Новиков Ф. А. Учебно-методическое пособие по дисциплине "Анализ и проектирование на UML" / Ф. А. Новиков. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. – 286 с..
24. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / [Г. Буч, Р. Максимчук, М. Энгл та ін.], 2010. – 720 с. – (3 издание).
25. Леоненков А. В. Самоучитель UML 2 / Александр Васильевич Леоненков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. – 576 с.
26. Фаулер М. UML. Основы / Мартин Фаулер. – Санкт-Петербург: Символ Плюс, 2004. – 192 с. – (3 издание).

ДОДАТОК

Публікації

Розробка агента управління попитом на енергію “інтелектуальної будівлі”

УКР.НТУУ”КПІ”_ТЕФ_АПЕПС_ТІ41161_19М

Аркушів 3

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XVII Міжнародної
науково-практичної конференції
молодих вчених та студентів
м. Київ, 23-26 квітня 2019 року,

ТОМ 2



Київ- 2019

УДК 621.43.056:632.15

Магістрант 5 курсу, гр. ТІ-81мп Шарнін С.А.
Доц., к.т.н. Ковальчук А.М.

РОЗРОБКА АГЕНТА МОНІТОРИНГУ І УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ "РОЗУМНОГО БУДИНКУ"

В умовах зростання цін на енергоносії [1] набуває розвитку концепція управління попитом (англ. demand side management). Економічна ефективність концепції, яка виступає в якості альтернативи будівництва нових енергетичних потужностей, обумовлена істотно нижчими витратами на енергозбереження в порівнянні з виробництвом додаткової електричної енергії (від 2 до 10 разів), а також відносно малими термінами окупності інвестицій (1-3 роки) [2]. Застосування цього механізму є вигідним для усіх суб'єктів енергоринку:

- для споживачів - підвищується енергоефективність, раціоналізується режим електричного споживання, знижується вартість енергопостачання шляхом усунення надмірного попиту на енергію;
- для генеруючих і мережевих підприємств - усувається загроза втрати доходів через нарощування власної генерації. Внаслідок зниження невизначеності попиту підвищується якість планування розвитку енергетичних потужностей.

Постає актуальною проблема створення програмного інструменту для встановлення режиму роботи приладів електричного споживання у відповідності до попиту у зовнішній енергетичній мережі із узгодженням з потребами кінцевого користувача. Програмний агент є складовою частиною системи автоматизованого управління інженерним обладнанням будівель. Програмний агент задає режим роботи для споживачів енергії, який коливається між двома крайніми положеннями:

- «жорсткий» режим – мінімум повноважень агента і повна свобода користувача;
- «гнучкий» режим - максимум повноважень агента..

Прилади електричного споживання мають різний режим роботи, перерва у роботі деяких з них недопустима і, навпроти, час роботи інших не має суттєвого значення для користувачів. Засновуючись на вподобаннях користувача, агент повинен прийняти оптимальне рішення про споживання електричної енергії тим чи іншим приладом у визначений час доби. Ознайомлюючись із звітом агента управління попитом про ефективність та економічну доцільність режимів споживання, користувач дає згоду на виконання пропонованих рекомендацій. Адаптивність програмної системи проявляється у виявленні характерних та специфічних особливостей поведінки користувача та вивченні його культури енерговикористання з метою її корекції в сторону підвищення енергоефективності.

Перелік посилань:

1. Етапи змін тарифів на електроенергію для побутових споживачів [Електронний ресурс] // Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=19527>.
2. Гительман Л. Д. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников. // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2013. – №1. – С. 85.